MEMOIRES POUR SERVIR A L'HISTOIRE ANATOMIQUE ET...

Henri Dutrochet



8 | 3.





Ex Libris Joannis Nencini

1870

MÉMOIRES

POUR SERVIR A L'HISTOIRE

ANATOMIQUE ET PHYSIOLOGIQUE

DES VEGÉTAUX

ET

DES ANIMAUX.

MÉMOIRES

POUR SERVIR A L'HISTOIRE

ANATOMIQUE ET PHYSIOLOGIQUE

DES VÉGÉTAUX

ET

DES ANIMAUX,

PAR M. H. DUTROCHET,

MEMBRE DE L'INSTITUT (Académie royale des Sciences) ET DE LA LÉGION D'HONNEUR.

AVEC UN ATLAS DE 30 PLANCHES GRAVÉES.

Je considère comme non avenu tout ce que j'ai publié précédemment sur ces matières et qui ne se trouve point reproduit dans cette collection.

AVANT-PROPOS.



BRUXELLES.

MELINE, CANS ET COMPAGNIE.

IMPRIMERIE, LIBRAIRIE ET FONDERIE.

1837

AVANT-PROPOS.

L'homme partage avec les brutes les besoins physiques; les besoins intellectuels lui appartiennent exclusivement et forment son plus bel attribut. A leur tête se trouve le *besoin de savoir*, besoin dont la satisfaction fait éprouver la plus douce comme la plus pure des jouissances. Aussi l'homme avide de savoir se porte-t-il à la recherche de mystérieuses vérités avec tout l'empressement que donne, en général, l'attrait du plaisir. Tandis que tant d'hommes restent dans l'indifférence pour la connaissance des mystères que recèle l'univers, celui que tourmente une louable curiosité porte avec empressement ses regards sur les traces de ce qui a existé avant lui, et sur ce qui existe dans la nature qui l'environne et dont il fait partie. C'est le besoin de savoir, c'est le désir de connaître les choses cachées qui porte l'archéologue à remuer la poussière des siècles reculés et à chercher la connaissance des événements de l'histoire dans l'interprétation des inscriptions gravées sur les antiques monuments. C'est ce même plaisir qu'il y a à découvrir les vérités ignorées qui porte l'amateur de la nature à la recherche des rapports, de la structure et de la composition de tous les objets naturels; c'est lui qui le soutient dans l'investigation souvent difficile des causes cachées des phénomènes. Ainsi il est vrai de dire que c'est au plaisir que nous devons toutes les richesses de la science, et cela suffit pour répondre à ceux qui, séduits par des plaisirs plus grossiers n'envisagent les sciences que sous un point de vue triste et rebutant. Au plaisir si pur que procure l'étude de la nature se joint un motif plus pur encore. Ce motif est l'espoir d'être utile à ses semblables, but auquel tend toujours d'une manière plus ou moins directe le perfectionnement des connaissances humaines.

Au nombre des études qui par leur importance sont dignes d'occuper l'esprit de l'homme, se trouvent en première ligne celles qui ont pour objet la connaissance de la nature. Placé dans cet univers avec des sens pour l'observer, avec une intelligence pour le connaître et pour l'admirer, l'homme resterait au-dessous de sa noble destination s'il négligeait l'étude des merveilles dont il est environné. Aussi, dès que les sociétés humaines eurent acquis par la civilisation un commencement de perfection, dès que certains hommes se trouvèrent exempts du besoin de travailler pour pourvoir journellement à leurs besoins physiques, les sciences naquirent; elles sont, comme les lettres, filles du loisir. Mais combien leur enfance fut longue! L'étude des phénomènes de la nature, la recherche de leurs causes mystérieuses demandaient des exprits exempts de préjugés, et malheureusement telle est la condition de l'esprit humain, que pour lui mille portes larges et d'un facile accès sont ouvertes à l'erreur, tandis qu'il n'existe que des sentiers étroits et difficiles pour le conduire à la vérité. Aussi les sciences naturelles ne furent-elles longtemps qu'un assemblage informe d'une multitude d'erreurs grossières et d'un très-petit nombre de vérités voilées et obscurcies. Lorsque naquit l'esprit philosophique, il eut à combattre la foule des erreurs accréditées, et, la plupart du temps, il ne fut pas victorieux dans cette lutte; souvent même son action se borna à substituer des erreurs subtiles à des erreurs grossières. Les premiers philosophes qui s'appliquèrent à l'étude de la nature s'élancèrent par l'imagination vers

un but que le terme trop court de la vie humaine ne leur permettait pas d'atteindre par la voie lente et pénible de l'observation. Ils prétendirent deviner les secrets du mécanisme de l'univers. Cette folle prétention a dominé l'esprit des philosophes jusqu'à Descartes. Cependant, avant ce dernier, Bacon avait enseigné les véritables principes qui doivent présider à la construction de l'édifice de la science. Il avait établi que cet édifice ne se compose que de faits bien établis et bien assemblés. Ce plan est simple autant qu'il est beau; mais son exécution est difficile et sera d'une extrême lenteur. Avant de construire un édifice, il faut en rassembler les matériaux; il faut donc d'abord observer et constater des faits isolés; ensuite, il faut étudier leurs rapports et établir la manière dont ils doivent être liés les uns aux autres.

L'univers forme un tout qui est *un*; toutes ses parties sont intimement et nécessairement liées les unes aux autres; tous les phénomènes qu'il présente doivent avoir un degré de parenté plus ou moins rapproché. Or, la tâche de l'investigateur de la nature est de déterminer quels sont les points par lesquels chaque être ou chaque phénomène naturel touche à d'autres êtres ou à d'autres phénomènes; quels sont les points par lesquels chaque groupe d'êtres ou chaque groupe de phénomènes touche à d'autres groupes d'êtres ou à d'autres groupes de phénomènes. Si l'intelligence humaine était assez puissante pour accomplir ce travail immense, nous aurions une idée précise et exacte de l'*unité* de l'univers, *unité* qui nous est démontrée d'une manière générale et indirecte par l'ordre admirable qui règne dans ce grand tout, mais qui ne nous est point encore entièrement prouvée d'une manière particulière et directe par la comparaison et le rapprochement de tous les êtres et de tous les phénomènes. L'édifice général de la science ne sera élevé que lorsqu'on aura déterminé par l'expérience et par l'observation, c'est-à-dire, d'une manière certaine, quels sont tous les phénomènes de l'univers et quel est le mode de leur enchaînement. On prévoit sans peine que cet édifice ne sera jamais achevé; il est au-dessus des forces de l'intelligence humaine à laquelle il n'est permis d'élever cet édifice que jusqu'à une certaine hauteur. Les matériaux premiers de cet édifice sont les faits; ils ne sont admis dans la construction de l'édifice que lorsqu'ils sont bien constatés. Ici la vérité est facile à distinguer de l'erreur, parce que la vérification des faits n'a besoin, pour être faite, que du témoignage des sens. La distinction de la vérité de l'erreur n'est pas aussi facile quand on s'occupe de l'enchaînement et de la coordination des faits.

Ce que nous appelons *cause* et *effet* n'est autre chose qu'un enchaînement de deux faits qui se reproduisent constamment l'un à la suite de l'autre dans un ordre déterminé. La recherche de la cause d'un phénomène n'est donc que la recherche des faits constamment antérieurs à ce phénomène. Or, souvent il est arrivé, et il arrive encore journellement, que l'on s'écarte de cette voie philosophique dans la recherche des causes. Un fait dont la cause ne se dévoile pas immédiatement se présente-t-il à l'observation, on est tout naturellement porté à chercher quels sont, parmi les phénomènes connus, ceux qui peuvent s'adapter d'une manière satisfaisante à l'explication de ce fait, c'est-à-dire, à la détermination de sa cause. Ce qui paraît vraisemblable peut alors être à tort considéré comme vrai et recevoir l'assentiment universel. L'histoire de la science offre une foule d'exemples de cette aberration de l'esprit humain dans la recherche des causes des phénomènes. Veut-on un exemple frappant de la manière dont cette fausse tendance de l'esprit peut égarer les plus grands génies, on le trouvera dans les ouvrages de Descartes, qui, réformateur heureux de la philosophie d'Aristote et fondateur d'une excellente *méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences*, ne put cependant se soustraire entièrement à la fausse tendance de l'esprit que je viens de signaler. Ce grand homme se donne pour précepte, *de ne recevoir jamais*, dit-il, *aucune chose pour vraie que je ne la connusse évidemment être telle, c'est-à-dire, d'éviter soi-*

gneusement la précipitation et la prévention ; et de ne comprendre rien de plus dans mes jugements, que ce qui se présenteroit si clairement et si distinctement à mon esprit, que je n'eusse aucune occasion de le mettre en doute (1). Voilà certes la base d'une excellente méthode pour diriger sa raison dans la recherche de la vérité. Or, on va voir comment Descartes applique cette méthode dans le discours même où il l'expose. On ignorait alors le phénomène de la contraction du cœur ; or, Descartes, recherchant quelle est la force qui projette le sang dans les artères, et cela non par l'expérience, mais par le raisonnement, admit que ce liquide reçu dans les cavités du cœur y subissait une raréfaction par l'effet de la grande chaleur de cet organe. Telle était, selon lui, la cause qui projetait le sang dans les artères où il perdait ensuite l'excès de sa chaleur. On voit combien était profonde la conviction de Descartes à cet égard lorsqu'il ajoute : *afin que ceux qui ne connaissent pas la force des démonstrations mathématiques, et qui ne sont pas accoustumés à distinguer les vraies raisons des vraisemblables, ne se hasardent pas de nier ceci sans l'examiner; je les veux advertir que ce mouvement que je viens d'expliquer, suit aussi nécessairement de la seule disposition des organes qu'on peut voir à l'œil dans le cœur, et de la chaleur qu'on y peut sentir avec les doigts, et de la nature du sang qu'on peut connoistre par expérience ; que fait celui d'une horloge, de la force, de la situation et de la figure de ses contre-poids et de ses roues.*

Quelle défiance ne doit-on pas avoir de soi-même relativement aux jugements que l'on porte pour la détermination des causes des phénomènes de la nature, lorsqu'on voit un génie tel que Descartes tomber dans de pareilles erreurs, et croire fermement qu'il a trouvé la vérité! A quoi donc lui a servi la méthode rigoureuse qu'il s'était imposée pour diriger son esprit dans la recherche de la vérité? elle est demeurée sans résultats. Jaloux de remonter aux causes de tous les phénomènes de l'univers, il s'est livré à son imagination sans lui donner de frein. Mais s'il est abondant en erreurs lorsqu'il prétend deviner la nature, il est fécond en vérités lorsqu'il l'étudie armé du calcul et de la géométrie. C'est alors seulement que se retrouve la supériorité de son génie.

L'exemple de Descartes prouve combien il est facile de s'égarer dans la recherche des causes ou de l'enchaînement ascendant des faits, lorsqu'on veut trouver ces causes par le seul raisonnement. Il n'est pas aussi facile de se tromper dans l'appréciation des *effets* ou de l'*enchaînement descendant des faits*, parce que, dans cette circonstance, on possède ordinairement les deux faits donnés par l'observation, et que l'on suit de l'œil leur enchaînement. Cependant il arrive encore quelquefois que l'on tombe ici dans l'erreur. Il ne suffit pas, en effet, que deux faits se reproduisent l'un à la suite de l'autre pour être en droit d'établir que l'un est la cause du second ; il faut que cet enchaînement des deux faits soit constant et qu'il se reproduise toutes les fois qu'on le sollicite dans les mêmes circonstances. Ainsi deux faits ne seront irrévocablement liés entre eux comme *cause* et comme *effet* que lorsque l'observation directe aura bien établi leur enchaînement constant. Les enchaînements de faits ainsi bien observés restent immuables dans la science. Ce sont les matériaux indestructibles de l'édifice général de la science de la nature. Pour construire cet édifice il faut rassembler et coordonner ces matériaux ; ici de plus grandes difficultés se présentent. L'emploi rationnel des matériaux premiers qui doivent entrer dans la construction de l'édifice de la science est le résultat d'un *jugement* qui est une action de l'esprit ; or, il s'en faut de beaucoup que les facultés de l'esprit soient égales chez tous les hommes. Tout le monde, comme l'a dit Descartes, a une égale dose de raison, c'est-à-dire une égale faculté de juger; mais tout le monde ne possède pas au même degré la faculté d'embrasser simultanément toutes les idées sur la comparaison desquelles le jugement doit être établi. Plus le nombre de ces idées est

(1) Discours de la Méthode.

considérable, plus il y a de difficulté à les embrasser simultanément pour établir leur comparaison. Ainsi, l'homme qui ne peut comparer facilement que deux ou trois idées ensemble fera des jugements faux, si la bonté de la décision exige la comparaison d'un plus grand nombre d'idées. Néanmoins son jugement sera juste pour lui, en cela qu'il sera le résultat rationnel de la comparaison des idées qui lui auront servi de bases. Ce sera un arrêt justement rendu sur les seules pièces qui existent au procès; mais injuste en lui-même, parce que des pièces importantes auront été distraites. Tout le monde est content de son bon sens ou de son jugement, parce que tout le monde a la certitude de bien juger d'après les pièces qui sont sous ses yeux. La faculté qui manque, dans cette circonstance, n'est pas celle de juger : c'est celle d'apercevoir toutes les idées et de saisir leur ensemble. L'homme qui étudie la nature sans posséder toute la force d'intelligence nécessaire pour comparer un grand nombre d'idées sera souvent exposé par cela même à porter de faux jugements; il sera dans l'erreur, et croira posséder la vérité. Bien plus, l'intelligence humaine la plus parfaite sera souvent exposée à l'erreur, en raison de l'état d'imperfection de nos connaissances. Les sciences ne sont point complètes à beaucoup près : un nombre certainement très-grand de faits particuliers et fort importants nous est inconnu. De plus, il est fort rare, ou, pour mieux dire, il n'arrive jamais que tous les faits connus soient rassemblés dans une même tête. La science de la nature est si vaste, même dans le peu que nous connaissons, que l'intelligence humaine n'est point capable de la posséder à fond dans son ensemble. Aussi la plupart des savants cultivent-ils exclusivement une seule branche de la science des êtres naturels. Il résulte de là qu'ils ne sont point tous aptes à juger dans les hautes questions dont la solution exige la comparaison et le rapprochement des faits qui appartiennent à plusieurs sciences différentes. Ainsi le botaniste et le zoologiste, qui jugent les hautes questions de la science des êtres organisés, l'un sans connaître l'organisation et la vie des animaux, l'autre sans posséder la connaissance des phénomènes de la végétation, ont tous les deux des chances d'erreur; car chacun d'eux ressemble à un juge qui n'écouterait qu'un seul plaideur. Celui qui aspire à occuper un rang distingué dans la science des êtres organisés, doit donc posséder toutes les branches des sciences naturelles qui s'y rattachent : il doit être botaniste et zoologiste, physicien et chimiste; plus l'œil de son intelligence sera placé dans une région élevée, plus il sera à même de planer sur les phénomènes de détail, de saisir leurs rapports et de *juger* pour établir leur coordination. L'homme moins instruit, ayant un horizon plus circonscrit, n'aura pas sous les yeux tous les éléments qui doivent nécessairement servir de base à un jugement certain. On voit par là quelle étendue de vue intellectuelle d'une part, et quelle masse de connaissances d'une autre part il est nécessaire de réunir pour arriver aux grandes vérités générales, à celles dont la découverte exige l'intuition intellectuelle d'un grand nombre de faits aperçus simultanément; aussi cette intuition ne peut-elle être que l'œuvre du génie. Ces réflexions sont faites pour inspirer beaucoup de défiance sur la certitude des théories scientifiques; aussi arrive-t-il assez souvent de les voir varier. Nous avons vu, par exemple, des théories chimiques qui, reçues universellement, semblaient a sises sur des bases solides, renversées tout d'un coup par les aperçus nouveaux d'un homme de génie, de Humphry Davy. Serons-nous donc réduits à ne reconnaître de vérités incontestables que dans les faits de détail que nos sens nous apprennent directement, et à frapper de l'improbation de l'incertitude les théories scientifiques dont la création est une œuvre de notre intelligence, et une opération de notre faculté de juger? Non, sans doute. Il existe dans les sciences un ordre de vérités sur lesquelles aucun doute ne peut s'élever, vérités par excellence, dont le siége est dans l'intelligence, et dont l'application existe partout dans l'univers : ce sont les vérités mathémati-

ques. Ces vérités, dont l'existence est nécessaire, forment la base inébranlable de la certitude; ce sont elles qui peuvent seules imprimer aux théories scientifiques le sceau de la vérité, et les transformer en *faits d'intuition intellectuelle*. Ce sont ces faits d'un ordre élevé qui sont la conquête du génie. C'est ainsi que Newton, embrassant d'un même coup d'œil intellectuel tous les phénomènes des mouvements planétaires et ceux de la pesanteur sublunaire, a découvert qu'ils sont soumis aux mêmes lois mathématiques. De ce rapprochement de faits est née la magnifique théorie de l'attraction générale, dont la découverte est le chef-d'œuvre de l'intelligence humaine. Au-dessous de cette œuvre d'un génie inimitable, se trouvent des découvertes moins éclatantes, mais non moins dignes d'estime. Dans la construction du palais de la science, tout le monde ne peut pas être architecte. Là se trouvent de simples et modestes ouvriers qui recueillent en silence et qui préparent les matériaux de cet édifice immense. Ils sont payés de leurs travaux par ce tribut d'estime et d'éloges que les hommes éclairés donnent aux ouvrages utiles, et par l'espoir fondé que la postérité conservera leur mémoire dans les annales de la science.

Les grands spectacles de l'univers sont ceux qui frappent le plus les yeux du commun des hommes; ils ne voient la nature digne d'admiration que dans les objets qui les frappent par des idées de grandeur matérielle. Le philosophe aperçoit l'immense grandeur de la nature jusque dans les choses les plus petites. Un brin d'herbe contient d'aussi grands mystères que la voûte des cieux. Il ne marcherait point l'égal de Newton, il le dépasserait, celui qui parviendrait à découvrir dans toute leur généralité les lois qui président à la vie de cette humble plante que nous foulons aux pieds. Ainsi, depuis la profondeur des cieux, où notre vue pénètre à l'aide du télescope, jusqu'aux profondeurs de l'infiniment petit auxquelles l'emploi du microscope nous permet de pénétrer, s'étend un champ immense où d'abondantes moissons de découvertes attendent l'investigateur actif et laborieux. Ce champ est inépuisable, et sa fécondité récompensera toujours les travaux de ceux qui le cultiveront avec une méthode philosophique. Cette méthode est celle que je viens d'indiquer; c'est celle que suivent aujourd'hui tous les savants véritablement dignes de ce nom : ils cherchent la vérité dans les faits, et ne la trouvent que dans ceux dont l'évidence est incontestable; ils bannissent sévèrement toute hypothèse, et, si quelquefois ils donnent accès auprès d'eux à la probabilité, ce n'est que comme moyen de direction pour l'investigation. Grâce à cette philosophie sévère, les sciences naturelles marchent d'une manière assurée vers leur perfectionnement indéfini. Leur trésor, riche des découvertes des siècles passés, s'accroît de nos jours avec une rapidité faite pour remplir de la plus douce satisfaction l'âme de ceux qui s'intéressent au perfectionnement de l'esprit humain. Cependant, au milieu de ce mouvement général, la physiologie est restée sinon stationnaire du moins fort en arrière, si l'on compare ses progrès à ceux des autres sciences naturelles. La physiologie des végétaux, en particulier, est à peine sortie de sa première enfance. L'état d'extrême imperfection où se trouve la physiologie végétale m'a paru provenir, en grande partie, de l'isolement de cette science qui, jusqu'à ces derniers temps, n'a guère été cultivée que par des hommes plus ou moins étrangers à la connaissance de la physiologie animale. Les phénomènes principaux de la vie, pour être bien connus, ont besoin d'être étudiés comparativement chez toutes les classes d'êtres organisés, car c'est par le rapprochement des faits que la science devient féconde. La physiologie animale elle-même m'a semblé devoir gagner à cette étude comparative. J'ai pensé que les phénomènes fondamentaux de la vie se présentant chez les végétaux avec moins de complications que chez les animaux étaient, par cela même, plus facilement abordables, et qu'ainsi le règne végétal pouvait donner la solution de beaucoup de problèmes qui resteraient insolubles au moyen de l'étude des seuls animaux. C'est, en effet, une vérité depuis longtemps reconnue que la science des êtres organisés

ne peut être perfectionnée que par des études comparatives. On connait tous les avantages qu'a retirés la science de l'économie animale de l'étude de l'anatomie et de la physiologie comparées chez tous les animaux.

La science de l'économie organique, considérée dans toute sa généralité, doit tirer de même de grands avantages de l'étude de l'anatomie et de la physiologie comparées chez tous les êtres qui jouissent de la vie, c'est à dire chez les animaux et chez les végétaux. Plus, en effet, les objets de comparaison sont multipliés, plus les résultats deviennent universels et plus, par conséquent, ils acquièrent d'importance. Cette étude comparative met à même d'isoler les uns des autres les divers phénomènes de la vie, de mettre à part ceux qui appartiennent exclusivement à certains êtres et de dégager ainsi les phénomènes généraux et fondamentaux de la vie de tous leurs phénomènes accessoires. De même, en effet, que nous voyons les êtres organisés, considérés dans leur série naturelle, se simplifier graduellement dans leurs formes et dans la complication de leurs organes; ainsi chez eux les phénomènes de la vie se simplifient graduellement et finissent, chez les êtres les plus simples, par arriver à ce que ces phénomènes ont de fondamental.

L'étude des phénomènes fondamentaux de la vie est, chez les animaux d'un ordre élevé, d'une difficulté peut-être insurmontable; cette étude se simplifie beaucoup chez les végétaux, et c'est probablement à eux seuls que l'on devra la solution des problèmes les plus importants de la science de la vie. Les secrets de cette science sont disséminés dans tout le règne organique. Aucun être en particulier, et même aucune classe d'êtres ne fournit les moyens faciles d'apercevoir ces secrets. Le grand livre de la nature ressemble à ce livre fabuleux de la sibylle de Cumes dont les feuillets séparés et épars demandaient à être cherchés, à être réunis par la sagacité d'un investigateur laborieux. Le physiologiste doit donc chercher à lire dans l'organisme de tous les êtres vivants, sans exception; il doit interroger tous ces êtres séparément; chacun d'eux lui dira son mot, chacun d'eux soulèvera à ses yeux une portion particulière du voile dont la nature couvre ses mystères; c'est de l'universalité de ces recherches, c'est du rapprochement de ces documents épars que sortira la connaissance sinon complète, mais au moins de plus en plus approchée des phénomènes fondamentaux de la vie. Dans la recherche de ces phénomènes et de leurs causes nous sommes privés du puissant secours de l'analyse mathématique, nous sommes réduits au simple usage de notre *faculté de juger*, faculté qui nous conduit souvent si mal; aussi ne pouvons-nous guère arriver à la certitude complète lorsque nous nous livrons à la recherche des causes inapercevables des phénomènes physiologiques qui frappent nos sens. Il ne nous est permis ici que d'établir des théories plus ou moins probables.

On a dit que l'être vivant est un petit *monde* qui est soumis à des lois différentes de celles qui régissent le *grand monde* ou l'univers inorganique. Une distinction nette et tranchée existe, dit-on, entre les corps organisés vivants et les corps inorganiques minéraux; voici les arguments sur lesquels on se fonde pour appuyer cette opinion. Les minéraux ne s'accroissent que par une addition de matière faite à leurs parties extérieures, cette agrégation s'opère par *juxtaposition;* ils s'accroissent ainsi du dehors en dedans; les êtres vivants s'accroissent au contraire par une addition de matière faite à leurs parties intimes; cette agrégation s'opère par *intussusception;* ils s'accroissent ainsi du dedans au dehors, ils se *développent*. Les solides minéraux affectent des formes déterminées que l'on nomme des *cristaux;* ces formes sont polyhédriques; elles se composent de surfaces planes terminées aux points de jonction par des lignes droites. Les êtres vivants affectent aussi des formes déterminées, mais ces formes ne sont jamais cristallines, elles sont généralement arrondies ou terminées par des surfaces courbes. Tant qu'une cause extérieure accidentelle ne vient pas déranger le mode d'agrégation des molécules d'un minéral, il reste constamment le même; il n'en est point ainsi d'un être

vivant; il existe chez ce dernier un mouvement intérieur et continuel qui modifie sans cesse la composition de ses éléments, mouvement qui ne cesse qu'avec l'état de *vie* et qui constitue essentiellement cet état, mouvement dont la cessation porte le nom de *mort*. L'*être organisé vivant* est un laboratoire dans lequel la matière subit des modifications spécifiques et étrangères au règne minéral; l'*être organisé mort* subit l'influence des agents *minéralisateurs* auxquels il était soustrait auparavant. Ses matériaux spécifiques se détruisent; leurs molécules qui étaient enchaînées par une force particulière qui n'existe plus, se quittent et s'agrégent d'une autre manière pour retourner à la manière d'être minérale. Telles sont les principales données sur lesquelles on fonde la distinction tranchée que l'on établit entre les minéraux et les corps vivants, examinons-les de plus près et voyons si elles sont suffisantes pour affirmer que ces deux classes de corps naturels ne sont point régies par les mêmes lois.

Les êtres vivants, et leurs différentes parties se présentent à nous dans le principe à l'état d'extrême petitesse; leur masse s'augmente peu à peu par l'introduction de nouvelles molécules puisées au dehors et par leur adjonction aux parties intimes de l'être vivant. Comment se fait cette agrégation? où se fait-elle? Ces questions n'ont reçu jusqu'à ce jour aucune solution. On croit généralement que toute augmentation de masse d'un être vivant est le résultat de l'*extension* de ses parties, mais il est certain que ce fait d'*extension* ou de *développement* qui est très-évident à l'extérieur de l'être vivant et à l'extérieur de ses organes doit avoir un terme dans l'intérieur de ces mêmes organes. Il doit y avoir une limite où l'augmentation de masse cesse de s'opérer par l'*extension* des parties préexistantes, et où cette augmentation de masse s'opère par une véritable *adjonction*, par une véritable *agrégation intercalaire*. La matière introduite dans l'être vivant par intussusception pénètre sa masse, mais elle ne peut s'agréger à cette masse qu'en finissant par adhérer à quelque surface. Ainsi, cette agrégation s'opère, par rapport à cette surface, de dehors en dedans comme cela a lieu pour les minéraux. Ces derniers, lorsqu'ils sont très-poreux, sont quelquefois pénétrés jusque dans leurs parties intimes par une matière liquide dont le dépôt intercalaire augmente leur masse en devenant solide. Cette agrégation, qui est *intérieure* par rapport au minéral et qui est le résultat d'une véritable *intussusception*, est cependant véritablement *extérieure* par rapport aux surfaces sur lesquelles elle s'opère, et il en est de même de l'agrégation intercalaire qui a lieu chez les êtres vivants. Il résulte de là que les minéraux et les êtres vivants ne diffèrent point, comme on le pense généralement, par le mode d'agrégation des nouvelles molécules qui augmentent leur masse; cette agrégation a lieu chez les uns comme chez les autres du dehors au dedans. Aucune agrégation ne peut avoir lieu autrement. Passons aux différences fondamentales qui paraissent exister dans les formes générales de ces deux classes d'êtres.

Les êtres vivants sont en général terminés par des surfaces courbes et arrondies; jamais ils ne sont limités, comme les cristaux, par des surfaces planes que séparent des arêtes rectilignes. L'existence de ces surfaces généralement arrondies chez les êtres vivants est un résultat nécessaire de leur mode d'accroissement par intussusception et par développement. La matière introduite qui augmente intérieurement la masse des organes, tend à augmenter l'étendue de l'enveloppe extérieure qui est distendue dans tous les sens à peu près également et qui doit, par cette raison, présenter un surface arrondie. Mais est-il certain que la forme des êtres vivants n'ait rien de commun avec les formes cristallines? Pour savoir à quoi nous en tenir à cet égard jetons un coup d'œil sur ce que les formes générales des êtres vivants offrent de fondamental.

La forme des êtres organisés se rapporte à deux types principaux, tantôt leurs parties sont disposées circulairement autour d'un centre commun, tantôt elles sont disposées par paires similaires de chaque côté d'un

axe central. Dans le règne animal la forme circulaire s'observe chez les zoophytes, et la forme *symétrique binaire* chez les animaux de toutes les autres classes. Dans le règne végétal la forme circulaire s'observe dans beaucoup de fleurs et de fruits, dans la structure intérieure des tiges des végétaux dicotylédons; dans ce même règne la forme *symétrique binaire* s'observe dans toutes les feuilles et dans un grand nombre de fleurs. Ces deux types principaux, auxquels se rapporte la forme de tous les êtres organisés, ne sont point tranchés et nettement séparés l'un de l'autre; l'observation prouve qu'ils se confondent et se changent insensiblement l'un dans l'autre, en sorte que la forme *circulaire* devient *binaire* par une gradation insensible, laquelle a lieu très-souvent au moyen de la prédomination de l'un des rayons dans la forme circulaire, rayon qui devient l'axe dans la forme binaire. Ainsi la forme binaire dérive de la forme circulaire, cette dernière dérive elle-même de la forme sphérique. J'ai fait voir, en effet, que les embryons végétaux ont leurs parties disposées concentriquement comme celles d'une sphère, et que c'est par son allongement que cette sphère primordiale passe à la forme d'ellipsoïde et enfin à la forme de cylindre, dont la coupe transversale offre la forme circulaire.

La forme circulaire et la forme binaire, formes auxquelles s'arrêtent généralement les êtres organisés, se rencontrent aussi dans le règne minéral, et l'on remarquera, non sans en être frappé, que ces deux formes se trouvent dans le mode de cristallisation de l'eau. On connaît la forme des *étoiles de la neige* dont l'observation facile a dû frapper les hommes dans tous les temps, et qui a été notée pour la première fois par Descartes. Ces étoiles ont six rayons disposés dans un même plan autour d'un centre commun, voilà la forme *circulaire*. Il arrive souvent que chacun de ces rayons possède latéralement deux rangées opposées de cristaux en forme d'aiguilles inclinées sur l'axe qui les porte, et compris dans le même plan que celui du cercle général. Voilà la forme *symétrique binaire*, elle est tout à fait semblable à celle que nous offre la disposition des barbes d'une plume sur la tige qui les porte. Ainsi l'eau, dans son mode de cristallisation, nous offre les deux formes générales des êtres organisés. Cette analogie paraîtra surtout frappante lorsqu'on se rappellera que l'eau est une des principales conditions de l'existence des êtres vivants. Sans doute ce serait aller trop loin que d'établir ici la *similitude* des lois qui président à la forme chez les êtres organisés et chez l'eau cristallisée, je ne prétends faire apercevoir ici que l'analogie du résultat des lois qui président à *la forme* dans ces deux circonstances, analogie qui peut en faire soupçonner une dans les lois qui ont présidé à *la formation*. Toujours résulte-t-il de là qu'on ne peut point établir une différence tranchée entre les minéraux et les êtres organisés par la considération de leurs formes.

L'état intérieur d'un minéral est, dit-on, constamment le même, tandis qu'il existe dans l'intérieur de l'être vivant un mouvement continuel, mouvement modificateur et assimilateur de la matière introduite du dehors. Ici la différence entre les minéraux et les êtres vivants devient plus tranchée, et cependant elle n'est pas telle qu'on en puisse conclure que les phénomènes qu'ils présentent soient d'un ordre totalement différent; en un mot, que les lois *physiques* soient entièrement différentes des lois *physiologiques*.

Il y a deux manières d'être ou deux états des objets naturels: 1° l'état fixe et permanent; 2° l'état temporaire. L'état permanent n'existe point à la rigueur, car l'état de tous les corps éprouve certaines variations, du moins à la surface du globe. Ainsi tous les corps changent sans cesse d'état par l'augmentation ou par la diminution de la chaleur. Ce changement produit trois manières d'être différentes de la matière : 1° l'état solide; 2° l'état liquide; 3° l'état gazeux. Il y a des corps qui, dans l'état actuel du globe, et sous l'influence des actions physiques qui agissent à sa surface, conservent toujours l'état solide. Les corps liquides ne sont point permanents; ils perdent fréquemment cet état par la dimi-

nution de la température dans les limites qui ont lieu à la surface du globe, ou bien ils se changent en vapeurs ou en gaz; par la même cause, les gaz qui existent et se conservent tels sous l'influence des causes physiques agissantes à la surface du globe, peuvent perdre cet état par l'effet de certaines affinités chimiques. C'est ainsi que l'oxygène de l'air se fixe sur le carbone et sur l'hydrogène lors de la combustion, pour former de l'acide carbonique et de l'eau; c'est ainsi que ce même oxygène se fixe sur un métal lors de l'oxydation, et qu'il y devient solide. Ainsi il existe, dans les parties de la matière à la surface du globe, un mouvement perpétuel. Les solides se dilatent et se resserrent; les liquides en font autant, et de plus deviennent solides ou gaz; les gaz se dilatent et se resserrent, et de plus se changent, en s'associant à d'autres corps, en solides et en liquides. Dans ce mouvement général de la matière à la surface du globe, nous pouvons distinguer: 1° des phénomènes *normaux*, c'est-à-dire, qui sont des résultats de l'ordre naturel actuellement établi parmi les corps physiques existants à la surface du globe; 2° des phénomènes *exceptionnels*, c'est-à-dire, qui sont des résultats de causes dont l'existence n'est pas liée à l'ordre général qui préside à l'état physique du globe. Ainsi, nous produisons dans nos laboratoires une foule de phénomènes *exceptionnels*, d'où résultent des composés également *exceptionnels*, c'est-à-dire étrangers à l'état normal du globe. Aussi ces composés sont-ils promptement détruits par les causes physiques générales qui agissent à la surface du globe, lorsqu'ils cessent d'être soustraits par nos soins à l'action de ces causes. Prenons un exemple, afin de rendre ceci plus intelligible. Lorsqu'on met de la potasse avec du fer dans un tube clos et fortement chauffé, ces deux substances se trouvent dans des conditions telles que leurs affinités réciproques ne sont plus semblables à ce qu'elles étaient sous l'empire de la chaleur qui existe généralement à la surface du globe. L'oxygène de la potasse se porte sur le fer, et le métal qui forme la base de cet alcali ou le *potassium* prend l'état métallique. Ce métal, ainsi revivifié, est étranger à l'économie du globe; sa revivification et son existence à l'état métallique sont des phénomènes *exceptionnels;* aussi ce métal est-il rapidement oxydé et ramené à l'état de potasse lorsqu'il cesse d'être soustrait par nos soins à l'action de l'oxygène. La revivification du potassium par cela même qu'elle est un phénomène *exceptionnel*, est également un phénomène *temporaire*. Il cesse de s'effectuer lorsque les affinités qui le produisent sont complétement satisfaites, mais il durerait d'une manière indéfinie si, en procurant l'issue du potassium produit et du fer oxydé, on introduisait sans cesse dans le tube toujours fortement chauffé de nouvelle potasse et de nouveau fer métallique. Alors ce phénomène exceptionnel durerait autant que dureraient les *causes particulières* qui ont produit son existence accidentelle. Si ces *causes particulières* pouvaient avoir de la continuité, il en résulterait un phénomène physique *exceptionnel* dont l'existence se maintiendrait d'une manière continue au milieu d'un ordre physique, en quelque sorte *ennemi*, qui serait celui des causes physiques qui agissent à la surface du globe. Or, c'est ce qui a lieu par rapport au phénomène de la vie. L'être vivant est un appareil dans l'intérieur duquel certaines substances introduites sont soustraites aux causes physiques générales qui agissent à la surface du globe, et sont soumises à des causes physiques spéciales. Cet être produit ainsi dans son intérieur certains composés qui ne peuvent continuer d'exister qu'autant qu'ils demeurent soustraits aux causes physiques générales environnantes. L'introduction continue de nouvelles substances dans l'appareil vivant et l'expulsion également continue des substances précédemment introduites et modifiées font que ce phénomène physique exceptionnel se maintient d'une manière continue au milieu d'un ordre physique en quelque sorte *ennemi*. Le mouvement vital doit donc être considéré comme un phénomène physique *exceptionnel* et *temporaire*, comme le résultat d'une modification par-

ticulière de quelques-unes des causes physiques générales qui impriment le mouvement aux molécules de la matière. L'opinion assez généralement admise que le mouvement vital est dû à un agent tout à fait étranger aux corps minéraux m'a toujours paru indigne de la philosophie de la science. Il est très-vrai qu'il y a une sorte de lutte entre la cause de la vie et les causes de minéralisation ; elles se disputent, pour ainsi dire, la matière organique et organisable qu'elles modifient chacune à leur manière, et, comme les causes de minéralisation sont les plus puissantes, comme elles règnent sur la majeure partie de la matière du globe, il en résulte que la cause de la vie est dans une lutte continuelle et ne subsiste qu'au moyen d'une résistance qui finit toujours par être vaincue. Mais cet antagonisme de la cause de vie et des causes de minéralisation n'est point du tout une preuve de la différence essentielle et fondamentale que l'on admet entre elles; elles prouvent seulement que la vie est un phénomène *exceptionnel*, dans l'ordre général et prépondérant qui régit la matière du globe. Il ne s'agit donc que de déterminer ce en quoi consiste ce phénomène d'*exception*. C'est à quoi l'on parviendra peut-être un jour par une connaissance plus approfondie des phénomènes physiques. Si les phénomènes du mouvement vital ne sont point tous explicables aujourd'hui par le moyen des phénomènes physiques, c'est que ces derniers ne sont pas tous connus. Les mouvements vitaux sont, pour la plupart, dans la catégorie des mouvements moléculaires, mouvements qui échappent généralement à la mesure et par conséquent au calcul, notre plus sûr moyen pour arriver à la certitude. Aussi les lois fondamentales qui président aux mouvemens moléculaires nous sont-elles nécessairement inconnues. Mais si nous devons renoncer à connaître les lois fondamentales qui régissent les mouvements vitaux, il nous est permis de découvrir la chaîne qui les unit comme *effets* à certaines *causes* physiques qui nous sont connues. Ainsi je ne doute point que les progrès que fait actuellement la science de l'électricité dans ses applications aux mouvements moléculaires des corps ou aux affinités chimiques ne jette un jour une vive lumière sur les nombreux phénomènes de chimie vitale qui se produisent dans les corps vivants. La physiologie se trouvera ainsi unie à la fois à la physique et à la chimie. Déjà j'ai tenté, et j'ose le croire avec quelque succès, de lier la physiologie à la physique, en appliquant le phénomène physique de l'endosmose à l'explication de certains phénomènes physiologiques, spécialement chez les végétaux. Je sais que, de prime abord, je suis allé trop loin en considérant l'endosmose comme le phénomène fondamental de la vie, comme son *agent immédiat;* mais cette assertion, réduite à ce qu'elle a de vrai, tend encore à conserver à ce phénomène physique un rôle important parmi les causes auxquelles sont dus certains mouvements vitaux. La découverte de l'endosmose lie désormais la physique à la physiologie ; par son moyen, j'ai pu expliquer le mécanisme du plus grand nombre des mouvements qu'exécutent certaines parties des végétaux. Certains faits m'ont mis à même d'apprécier, du moins en partie, le rôle que joue l'oxygène dans l'organisme vivant; j'en ai déduit le mécanisme au moyen duquel l'oxygène concourt à l'exécution des mouvements chez les végétaux et j'en ai fait, par analogie, l'application au phénomène de la contraction musculaire chez les animaux. D'autres observations m'ont fait voir quel est le rôle que joue l'oxygène lors de l'influence des excitants sur l'organisme vivant. Dans ces diverses circonstances j'ai vu les lois de la physique générale présider à l'exercice des phénomènes physiologiques de la vie. Ces premiers essais de l'application des phénomènes physiques à l'explication des phénomènes physiologiques tendent à faire disparaître le *mysticisme* que les physiologistes *vitalistes* ont introduit dans la physiologie. L'époque n'est pas éloignée, je l'espère, où l'on verra substituer à ces causes occultes et mystiques, à l'aide desquelles on explique les phénomènes vitaux, l'exposition des lois physiques auxquelles ils sont dus. On

ne dira plus que les organes *appellent* les liquides; qu'ils *choisissent* pour se nourrir ou pour les absorber les substances *qui leur conviennent*; toutes ces *psychomorphies* disparaîtront devant les faits qui ramèneront, sous l'empire des lois physiques, les phénomènes physiologiques que l'on a voulu leur soustraire. Rien certainement n'a plus nui aux progrès de la physiologie que cet isolement systématique où l'on a voulu mettre les phénomènes qui lui sont propres des autres phénomènes généraux de la nature.

Autant qu'une analogie rationnelle me l'a permis, j'ai rapproché la physiologie des végétaux de la physiologie des animaux. La première me paraît avoir, dans certains cas, porté sur la seconde une lumière inattendue, et qui n'eût jamais surgi sans ce secours. On trouvera là une preuve de plus de l'importance de l'étude comparative des fonctions chez tous les êtres qui jouissent de la vie. Les rapprochements physiologiques que j'ai établis entre les végétaux et les animaux démontrent qu'il n'existe qu'une seule physiologie, science générale des fonctions des êtres vivants, fonctions qui varient dans leurs modes d'exécution, mais qui sont fondamentalement identiques chez tous les êtres organisés. Une science nouvelle, *la physiologie générale*, naîtra, je l'espère, un jour, de ces premiers essais.

A proprement parler, je n'ai jamais publié ce que l'on peut à bon droit appeler *un ouvrage*; je n'ai fait que des *mémoires* qui peuvent être considérés chacun à part comme un travail isolé. Cependant il m'est arrivé plusieurs fois précédemment de réunir un certain nombre de ces mémoires en corps d'ouvrage et de les publier ainsi avec un titre commun. J'ai mieux aimé à rendre ici à chacun de ces mémoires son individualité naturelle, en indiquant toutefois le corps d'ouvrage auquel il avait été adjoint lors de sa publication première. Ainsi c'est un simple recueil de mémoires que je présente ici et non un ouvrage dont les parties sont coordonnées. Cependant j'ai pris soin de rapprocher ces mémoires suivant l'ordre de leurs affinités sans avoir égard à la date de leur publication, en sorte que l'ordre dans lequel ils sont placés, est celui dans lequel on peut les lire. Je dis cela surtout pour les mémoires de physiologie végétale. J'ai placé en tête de ce recueil mon travail sur l'endosmose que j'ai entièrement refondu et auquel j'ai donné la forme définitive qu'il doit avoir. Ce travail qui, appartient essentiellement à la physique par sa nature, appartient nécessairement aussi par ses applications à la physiologie. Je l'ai placé en tête de ce recueil essentiellement consacré à la science physiologique, parce que la connaissance du phénomène de l'endosmose est indispensable pour l'intelligence de plusieurs de mes travaux de physiologie végétale et animale. Cette dernière rédaction que j'ai donnée à mon travail sur l'endosmose et à tous mes travaux sur la science des êtres vivants est la seule que je reconnaisse à l'avenir; je considère comme non avenu tout ce que j'ai publié précédemment sur ces matières et qui ne se trouve point reproduit dans cette collection.

MÉMOIRES

POUR SERVIR A L'HISTOIRE

ANATOMIQUE ET PHYSIOLOGIQUE

DES VÉGÉTAUX ET DES ANIMAUX.

I.

DE L'ENDOSMOSE.

Lorsque des faits, dont la cause est inconnue, se présentent à l'observation, on tâche de leur donner une explication en leur assignant pour causes certains phénomènes dont la marche bien connue semble concorder avec celle de la cause encore ignorée des faits que l'on veut expliquer. On est naturellement porté à admettre que ce que l'on observe se rapporte à ce que l'on connaît déjà; mais les esprits philosophiques se mettent en garde contre cette tendance que nous avons à circonscrire la nature dans le cercle étroit de ce que nous savons; persuadés qu'il ne suffit pas qu'une explication soit probable pour qu'elle soit vraie, ils savent rester dans le doute et dire : *j'ignore;* ce mot qui répugne tant à l'orgueil des esprits vulgaires. Combien de fois, en effet, n'a-t-on pas vu les explications les plus probables renversées sans retour par l'observation de certains faits qui venaient agrandir inopinément le champ de la science? Ces réflexions s'appliquent naturellement à la découverte de l'Endosmose. Lorsque je découvris ce phénomène, on se hâta de le considérer comme un résultat de certains phénomènes de mixtion et de capillarité antérieurement connus. Cependant les faits d'endosmose se multiplièrent et se compliquèrent; alors il fut nécessaire de reconnaître que leur explication complète nous échappait. J'entre dans l'exposition de l'origine et des progrès de cette découverte.

Un très-petit poisson dont j'avais coupé la queue et que je conservais vivant dans un vase plein d'eau, offrit, sur la surface de la plaie, la production d'une moisissure aquatique à filaments assez longs, lesquels étaient terminés chacun par un petit renflement très-facile à apercevoir à l'œil nu. J'observai au microscope cette plante qui végétait sur un animal vivant. Les filaments de la moisissure étaient transparents; les renflements qui les terminaient et qui ressemblaient aux capsules d'un végétal étaient terminés en pointe et com-

plétement opaques. Je coupai quelques-uns de ces filaments et je les plaçai dans un cristal de montre avec un peu d'eau, afin de les observer à loisir au microscope; je ne tardai pas à voir quelques-unes des capsules dont je viens de parler, expulser, par une ouverture située à leur pointe, une multitude de globules; pendant cette expulsion, la cavité de la capsule se vidait seulement à sa partie inférieure, opposée à la pointe qui donnait issue aux globules; la masse de ces derniers, qui remplissait encore la partie supérieure de la cavité capsulaire, semblait pressée et fortement chassée en haut par l'accumulation de l'eau dans la partie inférieure de cette cavité capsulaire qui ne diminuait aucunement de capacité, en sorte qu'il me fut bien prouvé que l'expulsion des globules n'était point due à une contraction de la capsule. L'eau, par son introduction dans la partie inférieure de la cavité capsulaire, semblait faire ici l'office du piston d'une seringue pour chasser en haut et expulser par la pointe de la capsule l'amas de globules qui, primitivement, remplissait cette dernière en entier. Dans l'espace de deux ou trois secondes, tous les globules furent expulsés de leur capsule qui demeura pleine d'eau sans avoir rien perdu de ses dimensions primitives. Je crus d'abord que les globules, dont je venais d'observer l'expulsion, étaient sortis de leur propre mouvement, et que c'étaient des animalcules. Je me rappelai que Needham avait fait mention d'un semblable phénomène et précisément chez une moisissure aquatique. Cet observateur avait vu les capsules terminales de cette moisissure donner naissance, par émission, à des corps globuleux qu'il vit se mouvoir spontanément comme des animalcules, et qu'il considéra effectivement comme tels, assertion qui fut vivement combattue par Spallanzani (1). Je ne doutai point que la moisissure aquatique que je venais d'observer ne fût la même que celle qui s'était présentée à l'observation de Needham, et je l'observai de nouveau avec soin, afin de voir si véritablement les globules émis par les capsules étaient des animalcules. Il me fut facile de reproduire la plante dont il est ici question. Je prenais de l'eau du bocal où vivait le petit poisson sur lequel cette moisissure s'était développée et j'y plongeais des fragments de substance animale, lesquels ne tardaient pas à se couvrir d'une épaisse production de cette plante. Ceci me prouva d'abord que cette production ne tenait point du tout à la vie de l'animal sur lequel je l'avais d'abord observée; il faut quelques jours pour que cette plante acquière le degré de maturité nécessaire pour qu'elle puisse donner lieu à l'émission des globules contenus dans ses capsules. A cette époque je pris quelques-uns de ces filaments que j'isolai dans un cristal de montre rempli d'eau très-pure et exempte d'animalcules. Par une observation assidue, je trouvai le moment où l'une des capsules opérait l'émission de ses globules. Ce phénomène se passa exactement comme je l'ai décrit plus haut; je vis les globules répandus dans l'eau environnante se mouvoir en divers sens et avec beaucoup de rapidité pendant quelques instants, puis ils se précipitèrent au fond de l'eau où ils demeurèrent immobiles. Ainsi il me fut prouvé que ces globules n'étaient point des animalcules; leurs mouvements, en apparence volontaires et spontanés dans l'eau après leur sortie de la capsule, pouvaient être le résultat du mouvement imprimé à l'eau par l'expulsion rapide de ces globules hors de leur capsule; ce mouvement de l'eau étant apaisé, les globules cessaient aussi de se mouvoir. Je ne doute donc point que ces globules ne soient les séminules de la plante; aussi pouvais-je reproduire à volonté cette moisissure avec l'eau dans laquelle elle avait végété. Ayant mis la moitié d'un grain de blé dans cette eau et l'autre moitié dans de l'eau de pluie très-pure, il n'y eut que la première qui se couvrit sur la surface de sa section de la moisissure dont il est ici question; la seconde moitié

(1) Observations et expériences sur les Animalcules, chap. 8.

n'offrit aucune végétation. Les globules contenus dans les capsules de la moisissure n'étant point des animalcules, on ne peut attribuer leur sortie de la capsule à leur mouvement spontané : une dernière considération confirme ce résultat. Si c'étaient des animalcules qui sortissent par un mouvement spontané de l'intérieur de la capsule, on verrait se vider la première la partie de cette cavité la plus voisine de l'ouverture qui leur donne issue. Or, c'est au contraire la partie opposée qui manifeste sur-le-champ un vide que remplit l'eau. Il n'y a donc point de doute que cet amas de globules ne soit une masse inerte qu'une force *à tergo* chasse vers la pointe de la capsule et de là au dehors, exactement de la même manière que l'eau est chassée hors d'une pompe par le piston. L'eau introduite dans la partie inférieure de la cavité capsulaire est évidemment l'instrument mécanique de cette force *à tergo* qui produit l'impulsion de l'amas de globules qui remplit le reste de cette cavité. D'où vient cette eau? Quelle est la force qui la pousse dans l'intérieur de la capsule? J'avais pensé d'abord qu'elle était poussée dans la capsule par les organes intérieurs du filament qui la supporte; mais j'ai dû rejeter cette idée en voyant des capsules, détachées de leurs filaments, opérer de même l'émission de leurs globules. Il me fallut donc alors placer ce phénomène au nombre de ceux dont la cause est tout à fait inconnue. Je me contentai de noter ce fait, que je communiquai à la société Philomathique en 1809 et que je négligeai alors de publier autrement; c'est pour cela que je suis entré ici dans des détails fort circonstanciés et qui pourront paraître superflus relativement à l'objet dont je dois m'occuper ici. Je ne pensais plus à cette observation, lorsqu'un fait du même genre vint bien des années après m'en rappeler le souvenir. Ce fut le règne animal qui me fournit cette seconde observation.

L'accouplement des limaces offre une particularité bien remarquable et qui n'a point encore été notée. La verge de ces mollusques est, avant l'accouplement, revêtue d'une gaîne épidermoïque imperforée, qui ne lui est point adhérente. L'accouplement étant effectué, le sperme, qui est pâteux, s'accumule dans cette gaîne imperforée. Lorsqu'elle est entièrement remplie, elle se détache, et l'accouplement cesse d'avoir lieu : il reste ainsi dans l'organe femelle de la génération un petit sac rempli par la pâte spermatique. Si l'on trouble les limaces lorsque leur accouplement est près de finir, elles se contractent avec force et chassent au dehors chacune leur petit sac rempli de sperme, car ces animaux, comme on le sait, sont hermaphrodites. Ces petits sacs ressemblent à de petites cornues; ils sont fortement courbés sur eux-mêmes et plus gros à leur extrémité aveugle qu'ils ne le sont à leur entrée. Ils ont environ quinze millimètres de longueur; leur diamètre est de trois millimètres à leur extrémité renflée, et d'un peu plus d'un millimètre à leur autre extrémité. Ayant placé un de ces petits sacs dans l'eau, je fus surpris, une demi-heure après, de trouver ce petit sac en grande partie vide de sperme, qui avait été remplacé par de l'eau, et cela dans son fond seulement; le col de cette sorte de petite cornue contenait seul encore de la pâte spermatique, qui, chassée de l'intérieur de cette petite cornue, par l'ouverture de son extrémité, s'était répandue dans l'eau. Bientôt je vis le reste de cette pâte spermatique s'évacuer de même, en sorte que le petit sac, sans avoir rien perdu de ses dimensions, se trouva vide de sperme et rempli d'eau. Cette expulsion était bien évidemment l'effet d'une impulsion opérée par une force *à tergo;* la pâte spermatique était sortie avec effort par le col de la petite cornue qu'elle remplissait exactement, en sorte que ce n'était bien certainement point par ce col que s'était introduite l'eau qui avait remplacé le sperme à mesure qu'il sortait. Cette eau, accumulée de plus en plus dans le fond du petit sac, était bien évidemment l'agent mécanique de la pression qui déterminait la pâte spermatique à sortir par son ouverture. Aussi ce sac était-il distendu par l'eau. En un mot, il

me fut facile de voir ici à l'œil nu la répétition et la confirmation de l'observation d'expulsion que j'avais faite précédemment au microscope sur la moisissure aquatique. Lorsque le petit sac, presque entièrement rempli d'eau, n'eut plus qu'une dernière portion de sperme à expulser, je fus témoin d'un phénomène qui ne me laissa aucun doute sur la cause de cette expulsion. Cette dernière portion de sperme, étant sortie, fut suivie par un courant d'eau, que l'on distinguait à la répulsion qu'il exerçait sur les corps légers qui flottaient dans le liquide, et qui cessa bientôt. Je me hâtai de répéter cette observation avec le second des petits sacs spermatiques que je possédais, en employant toutes les précautions possibles pour éviter les causes d'erreur, et j'obtins exactement les mêmes résultats.

Ces observations prouvent que l'eau introduite dans les petites vessies organiques au travers de leurs parois, et accumulée de plus en plus dans leur intérieur, y devient un agent mécanique d'impulsion qui produit l'expulsion hors de ces petites vessies des substances qu'elles contenaient auparavant. La cause de ce phénomène nous échappe ici, mais nous apercevons une condition qui paraît nécessaire pour sa production. Nous avons vu que l'introduction continuelle de l'eau dans les petits sacs spermatiques de la limace n'a eu lieu que tant qu'il a existé un reste de sperme dans ces petits sacs. Lorsque toute cette substance a été expulsée, nous avons vu qu'il sortait par l'ouverture de ces sacs un courant d'eau qui s'est promptement affaibli et qui enfin a cessé de se montrer. Ainsi l'introduction violente de l'eau au travers des parois de la cavité organique a cessé lorsque cette cavité, délivrée du corps dense qu'elle renfermait, n'a plus contenu que de l'eau. La présence d'un corps plus dense que l'eau dans les petites vessies organiques, est donc une condition nécessaire pour y déterminer, au travers de leurs parois, l'introduction de l'eau qui les baigne extérieurement. Cette observation me fit penser que je pourrais obtenir un résultat analogue avec les intestins de petits animaux, dans lesquels j'introduirais, avant de les plonger dans l'eau, un liquide organique plus dense que ce fluide ambiant. Guidé par ce soupçon, je pris des cœcums de jeunes poulets, je les remplis de liquides plus denses que l'eau, tels que du lait, une solution de gomme, de l'albumen d'œuf, etc., et après les avoir fermés par une ligature je les plongeai dans l'eau. Ces intestins ne tardèrent pas à se gonfler et à devenir *turgides* par l'introduction de l'eau dans leur intérieur; leur poids augmentait considérablement. Cet état turgide durait ordinairement plusieurs jours, au bout desquels il cessait d'avoir lieu; le cœcum devenait flasque et diminuait de poids; il perdait par filtration l'eau qu'il avait introduite également par filtration. Je trouvai alors le liquide contenu dans le cœcum dans un état de putréfaction, et il me parut dès lors que c'était à cet état de putréfaction du liquide intérieur qu'il fallait attribuer la cause de l'abolition de la force inconnue qui, auparavant, produisait l'introduction de l'eau par filtration. J'évacuai ce liquide putréfié, et je le remplaçai par un liquide sain de même nature. Le phénomène de l'introduction de l'eau dans l'intestin se reproduisit, et cet intestin redevint *turgide*. Si je mettais dans l'eau une portion d'intestin de poulet vide et fermée par ses deux bouts, je trouvais, au bout d'un certain temps, qu'il s'était introduit une petite quantité d'eau dans son intérieur. Cela me fit penser d'abord, que la présence d'un liquide dense intérieur n'était pas indispensable pour provoquer l'introduction de l'eau par filtration dans les portions d'intestins fermées; mais j'étais trompé dans cette circonstance par une cause d'erreur inaperçue. En effet, la cavité de l'intestin, quoique vide d'eau en apparence, ne l'était cependant point en réalité, puisque je venais de la laver avec de l'eau; ses parois intérieures étaient mouillées, et cette petite quantité d'eau, devenue dense par l'adjonction et la solution des liquides animaux, suffisait pour déterminer le phénomène de l'introduction de l'eau par

filtration. Plusieurs expériences me prouvèrent que l'ordre de superposition des membranes intestinales n'exerçait aucune influence sur la production de ce phénomène qui avait lieu aussi bien avec des intestins retournés, qu'avec des intestins dans leur état normal. Ces expériences ne me laissaient aucun doute sur ce fait : que c'était la supériorité de densité du liquide contenu dans l'intestin qui déterminait l'eau extérieure à s'introduire par filtration dans sa cavité; pour dissiper tous les doutes à cet égard, je mis dans un cœcum de poulet de l'eau qui tenait en solution 0,02 de son poids de gomme arabique. Cet intestin plongé dans l'eau l'introduisit dans son intérieur; alors je le transportai dans de l'eau qui tenait en solution 0,1 de son poids de gomme. Dès cet instant, l'intestin commença à perdre par filtration son liquide intérieur. Ainsi le courant du liquide filtrant au travers de la membrane me parut toujours dirigé vers celui des deux liquides qui était le plus dense. J'avais cru, dans le principe, que ce courant était unique; mais je ne tardai pas à m'apercevoir qu'il y avait réellement deux courants opposés au travers des parois de la membrane. Ayant mis dans l'intérieur de l'intestin fermé par une ligature une solution de gomme colorée en bleu, je vis cet intestin se gonfler par l'introduction de l'eau extérieure qui était portée dans sa cavité par un courant de filtration, et en même temps l'eau extérieure se colorait en bleu, ce qui me prouvait que la solution de gomme colorée filtrait aussi de son côté pour venir se mêler à l'eau extérieure, en sorte qu'il y avait deux courants de filtration au travers des parois de la membrane intestinale, savoir : un courant fort qui portait l'eau vers le liquide dense que contenait l'intestin, et un courant plus faible qui portait le liquide dense vers l'eau. L'augmentation croissante du volume du liquide dense intérieur était le résultat de la différence qui existait entre le *courant fort* d'introduction et le *courant faible* de sortie. Ainsi le phénomène qui nous occupe reçoit définitivement la définition suivante : deux liquides hétérogènes et miscibles étant séparés par une cloison membraneuse, il s'établit au travers des conduits capillaires de cette cloison deux courants, dirigés en sens inverses et inégaux en intensité. Celui des deux liquides qui reçoit de son antagoniste plus qu'il ne lui donne, accroît graduellement son propre volume d'une quantité égale à l'excès de ce qu'il reçoit sur ce qu'il donne, c'est-à-dire d'une quantité égale à l'excès du *courant fort* sur le *courant faible*. La manière dont j'avais fait mes premières expériences m'ayant toujours montré le *courant fort* dirigé du dehors au dedans des petites vessies animales dont je me servais, et pensant que ce courant était dû à une impulsion, je lui donnai le nom d'*endosmose*, et par opposition je donnai le nom d'*exosmose* [1] au *courant faible* que je voyais dirigé du dedans au dehors. Ces noms imposés trop hâtivement sont très-mauvais, je dois en convenir : le premier exprime l'idée d'une *entrée* et le second celui d'une *sortie*. Or, le phénomène, envisagé sous son véritable point de vue, consiste dans une double perméation des liquides, abstraction faite de toute idée d'*entrée* ou de *sortie*. Il y a plus : le courant d'*endosmose* qui, d'après l'étymologie, exprime un courant entrant, peut être cependant un *courant sortant* dans certaines circonstances : c'est ce qui arrive, par exemple, lorsqu'une poche membraneuse contient de l'eau et se trouve en contact extérieurement avec un liquide plus dense que l'eau. On a alors un *courant d'endosmose* qui sort de la poche membraneuse au travers de ses parois, et un *courant d'exosmose* qui y entre par la même voie. Les faits se trouvent ainsi en contradiction avec les mots. Je n'aurais point hésité à changer ces expressions si leur adoption, déjà générale, n'avait rendu cette mutation très-difficile et sujette à de grands inconvénients. J'ai donc

[1] Ces deux mots sont dérivés de ενδον, dedans, εξ, dehors, combinés chacun avec le mot ωσμος, *impulsion.*

pris le parti de conserver ces mots *endosmose* et *exosmose*, en prévenant les physiciens qu'ils ne doivent avoir aucun égard à leur acception étymologique, et qu'ils expriment simplement, le premier : le *courant fort*, et le second : le *courant faible*, qui ont lieu en sens contraire, lorsque deux liquides hétérogènes et miscibles sont séparés par une cloison à pores capillaires. Je reprends actuellement la suite de mes expériences.

On vient de voir que des petites vessies animales remplies d'un liquide dense, fermées de toutes parts et plongées dans l'eau, se remplissaient avec excès et devenaient turgides. La considération de cet état de turgescence, causée par l'augmentation graduelle du volume du liquide qui était contenu dans cette petite vessie plongée dans l'eau, me conduisit à penser que le liquide intérieur serait déterminé à monter dans un tube qui communiquerait avec la cavité de la petite vessie; j'adaptai donc un tube de verre à un cœcum de poulet que j'avais rempli d'une solution de gomme arabique, et je plongeai ce cœcum dans un vase plein d'eau au-dessus duquel le tube s'élevait verticalement; le cœcum ne tarda pas à s'emplir d'eau avec excès, ce qui accrut graduellement le volume de la solution gommeuse qu'il contenait; bientôt cette solution gommeuse dont le volume était sans cesse croissant, s'introduisit dans le tube par un mouvement ascensionnel, et, parvenue à son extrémité supérieure, elle s'écoula au dehors. Quoique j'eusse soupçonné ce résultat, sa vue me causa une des plus agréables surprises qu'il soit possible d'éprouver; je découvrais une cause d'impulsion dont on ne soupçonnait pas même l'existence, et dont les applications à la physiologie se présentaient rapidement à mon esprit. Je répétai un grand nombre de fois cette curieuse expérience avec diverses longueurs de tubes, que je portai jusqu'à six décimètres, avec divers liquides denses, et j'obtins constamment ce même résultat que je ne me lassais point de regarder avec étonnement.

Il n'est pas nécessaire, pour faire cette expérience, d'employer un cœcum ou une petite vessie; on peut, avec plus d'avantage pour l'expérimentation, se servir de l'instrument dont je vais donner la description, et auquel j'ai donné le nom d'endosmomètre. Cet appareil se compose d'un tube de verre *d e* (pl. 1, fig. 1) et d'une partie évasée mobile, laquelle offre en bas une ouverture *a b*, qui est fermée avec un morceau de vessie fixé par une forte ligature dans la gorge circulaire *i i*; cette partie évasée est ce que je nomme le *réservoir* de l'endosmomètre, c'est dans ce réservoir que je place l'un des deux liquides hétérogènes, et c'est ordinairement le plus dense; ce réservoir se détache à volonté du tube, et l'on réunit ces deux pièces au moyen d'un bouchon de liége *c* traversé par l'extrémité inférieure du tube, bouchon qui s'adapte au réservoir comme à une bouteille. Après avoir rempli le réservoir avec l'un des deux liquides hétérogènes, je le fixe au tube, lequel est attaché sur une planchette graduée *pp*, il ne reste plus qu'à plonger le réservoir dans un vase rempli par le second des liquides hétérogènes, au-dessus duquel le tube s'élève verticalement. Dans certaines expériences, je fixe au-dessous de la vessie une plaque métallique percée d'une multitude de trous. Cette plaque soutient la membrane et l'empêche de se déprimer sous le poids du liquide contenu dans le tube de l'instrument. On sent que si l'on ne prenait pas cette précaution, la dépression de la membrane s'opérant en raison de la hauteur du liquide intérieur, cette dépression logerait une certaine quantité de ce liquide qui doit monter dans le tube. Cet instrument possède un grand avantage sur le premier dont je m'étais servi, et qui consiste tout simplement dans une petite vessie fixée à un tube. Si l'on met en expérience avec ce dernier instrument des liquides susceptibles d'occasionner la crispation du tissu de la vessie, le liquide contenu dans cette vessie sera chassé dans le tube par la contraction de cet organe, et cet effet d'impulsion mécanique se con-

fondra avec celui qui doit résulter de l'endosmose. On n'a point à craindre cette cause d'erreur avec l'endosmomètre dont la membrane, qui offre une surface plane, ne peut presser, par sa contraction, le liquide contenu dans le réservoir. J'ai mis en expérience, avec cet instrument, une grande quantité de liquides que je plaçais ordinairement dans son réservoir que je plongeais ensuite dans l'eau pure. Ces liquides étaient des solutions de substances organiques dans l'eau, des solutions salines ou alcalines, de l'alcool, etc. Ces divers liquides, qui tous, à l'exception de l'alcool, sont plus denses que l'eau, étant mis dans le réservoir d'un endosmomètre dont la membrane animale est plongée dans l'eau, l'endosmose s'établit et augmente le volume du liquide contenu dans le réservoir, ce qui lui donne un mouvement ascensionnel dans le tube. Si l'on met l'eau pure dans le réservoir de l'endosmomètre et qu'on plonge ce dernier dans la solution d'une substance organique, ou dans une solution saline, ou dans de l'alcool, etc., le courant d'endosmose se trouve dirigé de l'intérieur du réservoir de l'endosmomètre vers le liquide extérieur, en sorte que, ce réservoir tendant à s'évacuer, l'eau qu'il contient s'abaisse continuellement dans le tube de l'instrument. Si ce tube est plongé dans le liquide extérieur, l'eau intérieure s'abaissera graduellement au-dessous du niveau de ce même liquide extérieur. On voit ainsi qu'il y a deux manières opposées de faire les expériences d'endosmose; suivant la position que l'on donne aux deux liquides que sépare la cloison perméable de l'endosmomètre, on fait monter le liquide contenu dans le réservoir de cet instrument au-dessus du niveau du liquide extérieur, ou on le fait descendre au-dessous de ce même niveau. Il est bon, dans beaucoup d'expériences, d'essayer successivement ces deux manières d'observer l'endosmose. Lorsque le courant d'endosmose est dirigé du dehors vers le dedans du réservoir de l'endosmomètre, je dis que l'endosmose est *implétive;* lorsque, au contraire, le courant d'endosmose est dirigé du dedans du réservoir vers le dehors, je dis que l'endosmose est *déplétive.* J'aurai occasion, dans mes études sur la végétation, de faire usage de ces expressions pour exprimer la turgescence des cellules par l'*endosmose implétive,* et leur déplétion par l'*endosmose déplétive,* qu'il faut bien se donner de garde de confondre avec l'*exosmose.*

Je viens de dire que l'alcool, que l'on sait être moins dense que l'eau, se comporte cependant comme le ferait un liquide plus dense que l'eau lorsqu'on l'associe à ce dernier liquide dans les expériences d'endosmose; il en est de même de l'éther. Je reviendrai plus bas sur ce phénomène, ainsi que sur celui que présente l'endosmose opérée par les acides.

C'est en employant, dans ce genre d'expériences, les solutions salines que l'on peut se convaincre avec facilité de l'existence des deux courants antagonistes qui existent simultanément au travers de la cloison perméable de l'endosmomètre. Si, par exemple, on remplit le réservoir de cet instrument avec une solution d'hydrochlorate de soude, ce réservoir étant plongé dans l'eau, le volume de la solution saline s'accroîtra graduellement par l'effet de l'endosmose, en même temps la solution saline contenue dans le réservoir filtrera au travers de la membrane et se mêlera à l'eau environnante. C'est ce dont on pourra s'assurer dès les premiers moments de l'expérience, avec un réactif sensible tel que le nitrate d'argent. On pourrait penser que cette filtration descendante de la solution saline, serait due à sa pesanteur spécifique plus considérable que celle de l'eau, au-dessus de laquelle elle est suspendue. Il est possible en effet que cette cause de filtration agisse dans cette circonstance; mais il y a de plus ici l'effet de la filtration opérée par le *courant faible,* courant qui porte le liquide le plus dense vers le liquide le moins dense; c'est ce que démontre l'expérience suivante :

J'ai mis de l'eau distillée dans le réservoir d'un endosmomètre fermé avec un morceau de vessie. J'ai suspendu cet endos-

momètre au-dessus d'un vase qui contenait de l'eau tenant en solution du sulfate de fer. La membrane de l'endosmomètre touchait la surface de la solution de sulfate de fer, sans s'enfoncer dedans. Ce dernier liquide étant plus dense que l'eau distillée contenue dans l'endosmomètre, il devait y avoir, au travers de la membrane, un courant fort qui portait l'eau en descendant vers la solution saline, en même temps un courant plus faible qui portait en montant la solution saline vers l'eau. Ce dernier courant était ici contrarié par l'effet de l'écoulement, par l'action de la pesanteur; il ne laissa cependant pas d'avoir lieu; car au bout de deux heures, ayant essayé l'eau de l'endosmomètre par le nitrate de baryte et par le prussiate de potasse, j'y constatai l'existence du sulfate de fer. Ainsi, l'existence des deux courants antagonistes et inégaux d'endosmose et d'exosmose est démontrée d'une manière irréfragable : l'écoulement par l'effet de la pesanteur est un phénomène accessoire dont les résultats modifient plus ou moins ceux de ces deux courants antagonistes.

L'augmentation croissante du volume du liquide dense contenu dans l'endosmomètre communique une impulsion à la portion de ce liquide qui est contenue dans le tube de l'instrument. Le liquide nouvellement introduit par l'endosmose pousse et chasse devant lui le liquide qu'il remplace. Ce liquide introduit par l'endosmose, étant emprunté au liquide moins dense qui est situé inférieurement et qui est l'eau, dans mes expériences, il en résulte que le volume de ce dernier liquide se trouve diminué. Si le liquide supérieur est continuellement poussé de bas en haut, par l'afflux en excès du liquide inférieur, ce dernier est continuellement *pompé* dans la même direction. Je rends ces deux actions également appréciables par un mouvement ascensionnel, en faisant l'expérience suivante : Je prends un endosmomètre *a b* (fig. 2) fermé avec un morceau de vessie. Je fais correspondre son évasement à celui d'un autre endosmomètre renversé *c d*, privé de vessie. Je lute solidement ces deux instruments l'un à l'autre dans cette position : de cette manière, les deux cavités des endosmomètres sont séparées l'une de l'autre par une seule cloison membraneuse. Je remplis le réservoir, et non le tube de l'endosmomètre *a b*, avec une solution de sucre; je remplis entièrement le réservoir et le tube de l'endosmomètre *c d* avec de l'eau pure, et je le renverse dans un vase *g* rempli d'eau colorée. L'endosmose produit l'ascension du liquide sucré dans le tube *b*, l'eau ajoutée au liquide sucré par l'endosmose étant empruntée à celle qui remplit le réservoir *c* de l'endosmomètre inférieur, cette eau *soutirée* ou *pompée* est remplacée au fur et à mesure par l'eau colorée que contient le vase *g*; cette eau colorée, sollicitée par le poids de l'atmosphère, entre dans le tube *d*, dans lequel elle monte pour remplir le vide opéré par la soustraction de l'eau qui a été portée dans le liquide sucré supérieur par l'effet de l'endosmose. Ainsi il y a mouvement ascensionnel des liquides dans les deux tubes *b* et *d*; mais ce mouvement, quoique dépendant originairement de la même cause, qui est l'endosmose, n'offre pas cependant le même mécanisme. Le mouvement ascensionnel dans le tube supérieur *b* est le résultat d'une impulsion; le mouvement ascensionnel dans le tube inférieur *d* est le résultat d'un sorte d'*action de pompe*; il est dû à la pesanteur de l'atmosphère.

Lorsqu'on emplit d'eau le réservoir d'un endosmomètre, et que ce liquide s'élève en même temps à une certaine hauteur dans le tube de cet instrument, si l'on vient à plonger cet appareil dans un liquide dense jusqu'à l'endroit où l'eau aura été artificiellement élevée dans le tube, on voit l'eau s'abaisser continuellement dans le tube de l'endosmomètre au-dessous du niveau du liquide dense extérieur, et elle peut parvenir dans ce mouvement de descente jusqu'à une grande profondeur. Cet effet est dû à ce que le courant d'endosmose est alors dirigé de l'eau contenue dans l'endosmètre vers le liquide dense qui lui est extérieur. Ainsi

il y a deux manières opposées de faire les expériences d'endosmose : suivant la position que l'on donne aux deux liquides que sépare la cloison perméable, on fait monter le liquide contenu dans l'endosmomètre au-dessus du niveau du liquide extérieur, ou on le fait descendre au-dessous de ce même niveau. Il est bon, dans beaucoup d'expériences, d'essayer successivement ces deux manières d'observer l'endosmose.

Des deux courants antagonistes et inégaux d'endosmose et d'exosmose, le premier est, comme on le voit, le seul qui se manifeste par un effet dynamique; lui seul est susceptible d'opérer une impulsion. Cet effet dynamique est le résultat de son excès sur le courant d'exosmose : c'est par cet excès seulement qu'il agit mécaniquement. Le courant d'exosmose n'offre à l'observation que des effets de mixtion que le courant d'endosmose offre de même. Ainsi en se bornant, comme je le fais ici, à l'effet dynamique, l'endosmose seule doit fixer l'attention. L'exosmose peut, jusqu'à un certain point, être négligée. Aussi son nom apparaîtra-t-il peu dans ce traité qui, comme l'indique son titre, est spécialement consacré à l'*endosmose* considérée comme cause motrice des liquides.

La miscibilité des deux liquides hétérogènes est une condition indispensable pour l'existence de l'endosmose; il faut que les deux liquides puissent se dissoudre mutuellement, pour que le volume de l'un d'eux puisse s'accroître aux dépens du volume du liquide opposé. Ainsi, on n'observe point d'endosmose en mettant en rapport, au moyen d'un endosmomètre, deux liquides qui ne peuvent se mêler, tels que de l'huile et de l'eau. Lorsqu'on met en rapport une huile volatile, telle que celle de lavande, avec une huile fixe, telle que celle d'olives, le courant d'endosmose est dirigé de l'huile volatile vers l'huile fixe; mais ce courant est d'une lenteur extrême au travers d'une membrane animale. L'alcool et les huiles se dissolvent mutuellement; cette dissolution mutuelle est surtout très-remarquable entre l'alcool et les huiles volatiles. En séparant par une membrane animale l'alcool d'une de ces huiles, on voit le courant d'endosmose dirigé de l'alcool vers l'huile volatile.

Mes expériences sur l'endosmose avaient toutes été faites avec des membranes animales; il s'agissait de savoir si des membranes végétales donneraient le même résultat. Les gousses vésiculaires du *Colutea arborescens* (Baguenaudier) me parurent très-propres pour se prêter à ce genre d'expériences. Ayant percé par un bout une de ces gousses, je la remplis d'une solution de gomme, et je la fixai par cette ouverture, au moyen d'une ligature, à un tube de verre; je plongeai ensuite la gousse dans un vase rempli d'eau. L'endosmose s'opéra, et le liquide gommeux monta dans le tube. Les membranes, ou plutôt les expansions membraniformes végétales assez résistantes pour pouvoir être fixées à un réservoir d'endosmomètre, au moyen d'une ligature, sont assez rares; l'*Allium porrum* en offre qui remplissent parfaitement ce but. La partie inférieure et blanche de cette plante potagère est enveloppée par les pétioles engaînants et tubuleux des feuilles. En fendant sur l'un de leurs côtés ces tubes cylindriques, on obtient des membranes larges et assez résistantes pour pouvoir supporter une ligature. Je fixai par ce moyen une de ces membranes végétales au réservoir d'un endosmomètre que je remplis d'eau sucrée; l'endosmose eut lieu, et le liquide sucré monta dans le tube de l'instrument. Ainsi les membranes végétales sont aptes, comme les membranes animales, à la production de l'endosmose.

A une époque bien postérieure à celle de ces premières expériences, j'eus l'idée de fermer un réservoir d'endosmomètre avec du *taffetas gommé* lequel, comme on sait, est enduit de caoutchouc, en sorte que le taffetas gommé équivaut à une membrane mince de caoutchouc pur. On sait que cette substance est imperméable à l'eau; ce fut donc en vain que je tentai d'obtenir de l'endosmose, en mettant de l'eau sucrée ou de l'eau gommée dans un réservoir d'endosmomètre fermé avec du taffetas gommé et plongé dans l'eau; il

n'y eut aucune transmission de ces liquides au travers de cette cloison membraniforme de caoutchouc. Il n'en fut pas de même lorsque je mis de l'alcool dans ce même réservoir. Je savais, par mes précédentes expériences, qu'en séparant l'eau de l'alcool par une membrane animale ou végétale, le courant d'endosmose est dirigé de l'eau vers l'alcool. Or, j'ai trouvé qu'en séparant ces deux mêmes liquides par une cloison membraniforme de caoutchouc, il se manifeste de l'endosmose, mais que son courant est alors dirigé de l'alcool vers l'eau. Pendant les trente-six premières heures de la durée de cette expérience, le courant d'endosmose dirigé, comme je viens de le dire, de l'alcool vers l'eau, fut extrêmement lent. Après ce temps, cette endosmose devint plus rapide, ce que j'attribue à l'action de l'alcool sur le caoutchouc, action qui, en le ramollissant l'avait rendu plus facilement perméable. Je ferai observer que le courant d'endosmose qui portait l'alcool vers l'eau en traversant la cloison de caoutchouc, était accompagné par un contre-courant d'exosmose qui portait l'eau vers l'alcool en traversant de même la cloison; je me suis assuré, en effet, que dans cette expérience l'alcool avait reçu de l'eau. Cependant il est certain que le caoutchouc n'est point perméable à l'eau; cela prouve que ce dernier liquide n'a pu traverser la cloison de caoutchouc qu'en se mêlant avec l'alcool qui occupait les interstices moléculaires de cette substance. Une fois introduit dans ces interstices, l'alcool attire l'eau par affinité et l'introduit dans la substance du caoutchouc qui ne donne aucun accès à l'eau lorqu'elle se présente seule. Ainsi c'est à l'état de mixtion dans les canaux capillaires de la cloison séparatrice que les deux liquides opposés marchent l'un vers l'autre par une progression croisée et inégale. C'est par un moyen fort simple que je me suis assuré que l'alcool qui avait servi à cette expérience avait acquis de l'eau. J'y ai mis le feu et il est resté une quantité notable d'eau pour résidu de la combustion, tandis qu'il n'en est point resté du tout après la combustion de l'alcool semblable à celui dont je m'étais servi.

Cette expérience prouve irréfragablement que la cloison séparatrice des deux liquides hétérogènes joue un rôle très-important dans la production de l'endosmose et cela en vertu de sa nature chimique particulière.

Jusqu'ici je n'ai encore employé que des membranes organisées et du caoutchouc, qui est une substance d'origine organique pour fermer l'évasement terminal du réservoir de l'endosmomètre: il s'agit de savoir si des lames poreuses minérales étant substituées, dans les expériences faites avec cet instrument, à la membrane organique, on verra de même l'endosmose s'opérer. J'ai donc luté, à l'ouverture évasée d'un réservoir d'endosmomètre, une lame de grès tendre, de six millimètres d'épaisseur; j'ai rempli son réservoir avec de l'eau chargée de 0,2 de son poids de gomme arabique, et je l'ai plongée dans l'eau pure, au-dessus de laquelle le tube vide de liquide s'élevait verticalement : il ne s'est manifesté aucune endosmose. J'ai remplacé cette lame de grès par une autre lame de même substance, de quatre millimètres d'épaisseur; je n'ai encore obtenu aucune endosmose : ces deux lames étaient faites avec du grès très-pur, c'est-à-dire exclusivement siliceux. J'ai employé à la même expérience une lame faite avec un grès dur et très-ferrugineux; elle avait trois millimètres d'épaisseur : j'ai obtenu alors une endosmose très-faible, ou d'une lenteur telle que le liquide intérieur ne fut élevé que de trois millimètres dans l'espace de deux jours, quoique le tube dans lequel s'opérait cette ascension du liquide gommeux n'eût que quatre millimètres de diamètre intérieur. Depuis j'ai multiplié mes expériences pour tâcher d'obtenir de l'endosmose, en employant des endosmomètres fermés avec des lames de grès purement siliceux, de dureté et de perméabilité très-diverses, jamais je n'ai pu obtenir le moindre signe de ce phénomène, et cependant les lames de grès que j'employais possédaient bien évidemment le degré de perméabilité capillaire

qui était propre à donner lieu à l'endosmose. Les solutions de gomme et de sucre les plus chargées de ces substances, séparées de l'eau pure par ces lames de grès, ne m'ont offert aucun signe d'endosmose. Ainsi j'ai été conduit à penser que la faible endosmose, obtenue au moyen de la lame de grès ferrugineux, dépendait de la nature chimique particulière de cette lame.

La pâte de porcelaine est, comme on sait, un silicate d'alumine avec excès de silice, en sorte qu'elle constitue, lorsqu'elle est cuite, un solide essentiellement siliceux. Lorsqu'elle est imparfaitement cuite et à l'état que l'on nomme *porcelaine dégourdie*, elle est assez facilement perméable à l'eau, sa perméabilité paraît assez semblable à celle de l'argile fine et blanche, cuite au degré où elle l'est dans la vaisselle que l'on fabrique aux environs de Paris. Cette argile est un silicate d'alumine avec excès d'alumine, en sorte que c'est un solide essentiellement alumineux; cela établit une différence très-grande entre l'argile et la pâte de porcelaine, sous le point de vue de l'endosmose, ainsi qu'on va le voir. La perméabilité de la *porcelaine dégourdie* diminue graduellement à mesure qu'on lui fait éprouver une cuisson plus forte, jusqu'à ce que sa cuisson soit complète; alors cette substance qui est dans un état de demi-vitrification est tout à fait imperméable aux liquides. J'ai fait faire des lames de *porcelaine dégourdie*, propres à être adaptées à des réservoirs d'endosmomètre; je me suis procuré en outre des sortes de petites bouteilles ou de godets à parois minces, faites de même en *porcelaine dégourdie* et propres à servir de réservoirs d'endosmomètre en adaptant un bouchon traversé par un tube de verre à leur ouverture. Je remplissais leur cavité avec un liquide propre à produire l'endosmose, et je les plongeais ensuite dans l'eau pure. J'ai mis en expérience de cette manière des godets de porcelaine de tous les degrés possibles de cuisson, et par conséquent très-différents en perméabilité; jamais je n'ai pu obtenir avec ces godets le plus léger signe d'endosmose. Cependant je mis en expérience, de cette manière, les liquides dont la puissance d'endosmose est la plus grande, c'est-à-dire les solutions fortement chargées de sucre, l'alcool, les solutions de potasse caustique les plus concentrées, etc.; jamais il ne s'est manifesté le moindre signe d'endosmose. J'ai essayé si j'obtiendrais ce phénomène en mettant une solution alcaline dans ces godets et en plaçant un acide en dehors, ou bien en donnant une disposition inverse à ces liquides; je n'ai point obtenu d'endosmose. Des lames de porcelaine dégourdie adaptées à des réservoirs d'endosmomètre m'ont offert des résultats analogues. Dans toutes ces expériences le liquide supérieur a toujours filtré, en vertu de sa seule pesanteur, vers le liquide inférieur, lorsque sa viscosité trop grande n'y a pas mis obstacle. Ainsi, j'ai acquis la certitude que la porcelaine imparfaitement cuite, quoique formant un solide dont la porosité offre les conditions les plus favorables pour la production de l'endosmose, est cependant complétement incapable d'offrir ce phénomène. Ce fait, que j'ai constaté avec le soin le plus scrupuleux, concourt, avec le fait semblable qui est offert par le grès purement siliceux, à prouver que les solides siliceux sont complétement privés de la propriété de produire l'endosmose, quoique pourvus cependant de toutes les qualités de porosité nécessaires pour l'accomplissement de ce phénomène.

Bien longtemps avant d'avoir appliqué la porcelaine imparfaitement cuite aux expériences d'endosmose, j'avais employé pour ces mêmes expériences l'argile cuite, qui n'en diffère guère chimiquement que par la proportion bien plus grande d'alumine qui entre dans sa composition. Je me suis servi pour cet effet de lames d'argile cuite grossière, telle que celle qui est employée à la fabrication des tuiles ou de la poterie grossière, et de lames d'argile cuite blanche et fine nommée vulgairement *terre de pipe*. Ayant adapté à un endosmomètre une lame d'argile blanche cuite, d'un millimètre d'épais-

seur, j'obtins une endosmose assez énergique, et peu différente de celle que j'aurais obtenue, dans le même cas, avec une membrane organique : le réservoir de l'endosmomètre était rempli avec une solution de gomme arabique. Une lame de la même argile, de deux millimètres d'épaisseur, et une autre de cinq millimètres d'épaisseur, ayant été adaptées à des endosmomètres remplis ensuite de gomme arabique en solution d'eau sucrée ou d'alcool, j'obtins également de l'endosmose. Enfin, des lames d'argile grossière, d'un centimètre et d'un centimètre et demi d'épaisseur, adaptées à des endosmomètres, produisirent encore de l'endosmose : cependant, la plus épaisse de ces lames n'opéra qu'une endosmose très-lente, ce qui provenait de ce que sa grande épaisseur avait diminué sa perméabilité. Ces faits, qui me prouvaient que le peu d'épaisseur des cloisons perméables n'était point la condition nécessaire de l'effet d'endosmose, comme je l'avais d'abord pensé, me prouvaient en outre que les solides alumineux jouissent éminemment de l'aptitude à produire l'endosmose.

Je passe à l'étude des propriétés de la chaux carbonatée, relativement à la production de l'endosmose. J'ai préparé des lames minces de chaux carbonatée, de dureté et de perméabilité très-diverses, et je les ai adaptées à des réservoirs d'endosmomètre. Une lame faite avec de la pierre tendre à bâtir ne m'a offert aucune endosmose. Cet effet négatif pouvait provenir de la trop grande perméabilité de cette substance ; je la remplaçai par une lame de carbonate calcaire plus dur, de trois millimètres d'épaisseur ; elle ne m'a point offert non plus d'endosmose. J'ai essayé, sans plus de succès, plusieurs lames faites avec des variétés différentes de carbonate calcaire. Enfin j'ai adapté à un endosmomètre une lame de marbre blanc de deux millimètres d'épaisseur. Cette substance, quoique très-dense, n'est cependant pas imperméable à l'eau ; j'avais donc sujet d'espérer que j'obtiendrais de l'endosmose par son emploi ; mais mon attente fut trompée. Je voulus m'assurer si cette absence de l'endosmose n'était point due à l'imperméabilité de la plaque de marbre, en raison de son trop d'épaisseur. Je remplis donc le réservoir et le tube de l'endosmomètre avec de l'eau pure, et je suspendis l'instrument au-dessus d'un vase rempli d'eau, dans laquelle baignait la lame de marbre. Si cette lame était perméable à l'eau, ce liquide contenu dans l'endosmomètre devait s'écouler au travers des conduits capillaires de cette lame de marbre, et cet écoulement devait devenir sensible par l'abaissement de l'eau dans le tube, qui n'avait que deux millimètres de diamètre intérieur. La lame de marbre avait quatre centimètres de diamètre. Le résultat de cette expérience fut que la lame de marbre ne perdait par filtration que la petite quantité d'eau capable, par sa soustraction, d'abaisser le niveau de ce liquide d'un millimètre et demi par jour dans le tube. Je réduisis l'épaisseur de la lame de marbre à un millimètre et demi. Dans cet état elle perdit par filtration, dans l'espace d'un jour, onze millimètres d'eau mesurée par le tube. La perméabilité de cette lame était, comme on le voit, considérablement augmentée. Cependant l'endosmomètre qu'elle formait étant mis en expérience avec de l'eau sucrée, dont la densité était 1,12, il ne se manifesta point d'endosmose.

Je réduisis l'épaisseur de la lame de marbre à un millimètre. Dans cet état, elle perdit par filtration, dans l'espace d'un jour, 21 millimètres d'eau mesurée par le tube. Je mis dans l'endosmomètre, que fermait cette lame de marbre, de l'eau sucrée, dont la densité était 1, 12, et j'obtins une endosmose qui se manifesta par une ascension de 7 millimètres en vingt-quatre heures. Ces expériences prouvent que le marbre n'est apte à produire l'endosmose que lorsque sa perméabilité a atteint un certain degré. J'ai voulu comparer cette lame de marbre avec un morceau de vessie de même surface, sous le double point de vue de leurs perméabilité et de leurs propriétés d'en-

dosmose respectives. Ayant donc enlevé cette lame de marbre qui fermait l'endosmomètre, je l'ai remplacée par un morceau de vessie, dont j'ai mesuré la perméabilité pour l'eau pure de la même manière que je l'ai exposé ci-dessus. J'ai trouvé cette perméabilité un peu plus forte que celle de la lame de marbre. J'ai pris des morceaux de vessie un peu plus épaisse, et par ces tâtonnements je suis arrivé à trouver un morceau de vessie qui, appliqué à l'ouverture du réservoir de l'endosmomètre, manifestait une perméabilité pour l'eau exactement semblable à celle de la lame de marbre d'un millimètre d'épaisseur. Alors je mis dans cet endosmomètre le même liquide sucré dont la densité était 1,12, et avec lequel j'avais sollicité l'endosmose lorsque la lame de marbre fermait le réservoir de l'endosmomètre : l'endosmose que j'obtins éleva le liquide sucré de 73 millimètres en trois heures. Ainsi, la perméabilité pour l'eau étant égale dans la lame de vessie et dans la lame de marbre, l'endosmose de la première était à l'endosmose de la seconde comme 584 est à 7, différence véritablement prodigieuse, et dont la cause ne paraît pas facile à saisir. Ces expériences prouvent que la chaux carbonatée n'est que très-faiblement apte à produire l'endosmose ; avant d'avoir autant multiplié mes expériences à cet égard, j'avais même cru que cette substance était totalement incapable de donner lieu à la production de ce phénomène.

Les variétés de la chaux sulfatée que l'on peut employer pour des expériences d'endosmose, ne sont point assez nombreuses, et n'ont point une assez grande variété de perméabilité pour qu'il soit possible d'apprécier la propriété de cette substance par rapport à l'endosmose. Je n'ai fait à cet égard que deux expériences qui ne prouvent rien.

J'ai adapté à un endosmomètre une lame de plâtre (chaux sulfatée calcarifère) de 4 millimètres d'épaisseur : je n'ai obtenu, par ce moyen, aucune endosmose. J'ai employé pour la même expérience, et sans plus de succès, la chaux sulfatée cristallisée, qui, comme on sait, se divise en lames extrêmement minces. Mais ici le défaut d'endosmose pouvait être attribué à ce que ces lames de substance cristallisée ne seraient pas perméables à l'eau.

Ces expériences prouvent que parmi les substances minérales les solides siliceux sont tout à fait impropres à produire l'endosmose, et que les solides alumineux jouissent éminemment de cette propriété. Les solides calcaires ne présentent cette propriété qu'à un degré extrêmement faible, en sorte que souvent elle paraît nulle.

L'accroissement de la température accroît la quantité du liquide introduit par l'endosmose dans un temps donné ; je me suis assuré de ce fait très-important par les expériences suivantes : j'ai fixé un cœcum de poulet à un tube de verre au moyen d'une ligature, et j'ai rempli ce cœcum avec une solution d'une partie de gomme dans dix parties d'eau, et après avoir pesé cet appareil, j'ai plongé le cœcum dans un vase qui contenait de l'eau distillée à la température de + 4 degrés R. Pendant une heure et demie que dura cette expérience, la température de l'eau ne varia point. L'expérience finie, je pesai de nouveau l'appareil auquel je trouvai une augmentation de poids de 13 grains, c'était la quantité dont la masse du liquide gommeux avait été augmentée par l'endosmose ; alors je plongeai le cœcum dans un autre vase rempli d'eau distillée dont la température ne varia que de + 25 à + 26 degrés, et je l'y laissai pendant une heure et demie ; ce temps écoulé, je pesai l'appareil qui se trouva avoir acquis 23 grains de poids pendant cette seconde expérience. Ainsi la quantité du liquide introduit par l'endosmose dans la première expérience, était à la quantité du liquide introduit dans la seconde expérience, comme 13 est à 23 ou comme 1 est à 1,77. Cette augmentation de la quantité du liquide introduit par l'endosmose, était le résultat d'une augmentation de 21 à 22 degrés de tempé-

rature. Il est à remarquer que les 13 grains d'eau introduits dans le cœcum, dans la première expérience, avaient diminué un peu la densité du liquide gommeux; par conséquent il devait y avoir moins d'endosmose, et au contraire l'endosmose fut augmentée, et cet effet dériva évidemment de l'augmentation de la température. Voici une seconde expérience du même genre et dont le résultat est le même : je mis dans le cœcum d'un appareil semblable à celui ci-dessus décrit, une solution d'une partie de gomme dans dix parties d'eau, et je plongeai le cœcum pendant une heure 45 minutes dans de l'eau distillée refroidie à zéro du thermomètre. L'appareil pesé avant et après l'expérience se trouva avoir augmenté en poids de 10 grains et demi ; ce poids indiquait la quantité de l'eau introduite dans le liquide gommeux par l'endosmose. Je transportai cet appareil dans de l'eau distillée échauffée constamment à + 27 et 28 degrés R; il y resta pendant une heure 45 minutes. Dans cet espace de temps l'endosmose augmenta de 37 grains le poids du liquide gommeux que contenait le cœcum; ainsi une augmentation de 27 à 28 degrés, dans la température, augmente dans ces deux dernières expériences la quantité du liquide introduit par l'endosmose dans la proportion de 10,5 à 37, c'est-à-dire dans la proportion de 1 à 3,52.

La quantité du même liquide introduit par l'endosmose, et avec le même genre de cloison perméable, est généralement proportionnelle à l'étendue de la surface de cette cloison. On sent que ce résultat est nécessaire, car la quantité du liquide transmis doit être proportionnelle à la quantité des canaux capillaires introducteurs, et la quantité de ces derniers est proportionnelle à l'étendue de la surface perméable. Malgré cette évidence rationnelle, je n'ai point négligé de la confirmer par l'expérience. Les diamètres des réservoirs des deux endosmomètres étaient comme 1 est à 2; je fermai ces deux réservoirs avec des morceaux pris à la même vessie, et les ayant remplis avec la même eau sucrée, je les plongeai tous les deux dans l'eau distillée; j'avais eu soin auparavant de les peser tous les deux très-exactement. Après deux heures d'expérience je les pesai de nouveau, et je trouvai dans le grand endosmomètre quatre fois plus d'augmentation de poids que dans le petit, ce qui attestait que le premier avait introduit, par endosmose, quatre fois plus d'eau que le second. Ce rapport était exactement celui de l'étendue de la surface de leurs membranes respectives, dont les diamètres étaient comme 1 est à 2, et dont les surfaces étaient par conséquent comme 1 est à 4.

La quantité proportionnelle du liquide introduit par l'endosmose, dans un temps donné, est l'élément de la *vitesse* et de la *force* de l'endosmose.

J'entends par *vitesse de l'endosmose* la quantité dont un liquide s'élève dans le tube d'un endosmomètre dans un temps donné. En général, plus le liquide que contient l'endosmomètre est dense, plus il y a de vitesse d'endosmose. Il était important de déterminer quel est le rapport qui existe entre la densité des liquides et la vitesse de l'endosmose qu'ils sont susceptibles de produire. Pour faire des expériences comparatives à cet égard, il faut d'abord qu'elles soient faites avec le même endosmomètre; il faut, en second lieu, ne comparer entre elles que des expériences qui se suivent immédiatement; car l'endosmomètre fermé avec une membrane organique, avec un morceau de vessie par exemple, offre des résultats très-variables; en sorte que deux expériences faites l'une après l'autre, et avec les mêmes liquides, n'offrent point toujours exactement les mêmes résultats. Si ces deux expériences sont faites longtemps l'une après l'autre, on obtient quelquefois des résultats qui diffèrent de la moitié. Ces variations proviennent des changements apportés dans la densité, ou dans la perméabilité de la membrane par sa longue macération. Ainsi, lorsqu'on veut obtenir des résultats comparables dans ce genre de recherches, il faut faire chacune des expériences dans le moins de temps possible, les faire immédiate-

ment les unes après les autres, et recommencer plusieurs fois la même série d'expériences comparées, afin de ne point être induit en erreur par des anomalies accidentelles. Il est tout à fait indispensable que la membrane de l'endosmomètre soit soutenue en dehors par la plaque métallique criblée de trous dont j'ai parlé plus haut. Il faut, en outre, avoir soin que l'endosmomètre soit placé dans un local dont la température ne varie point; car, ainsi que je l'ai démontré, l'augmentation de la température accroît l'endosmose.

L'endosmomètre avec lequel j'ai fait les expériences suivantes possède un réservoir de quatre centimètres (un pouce 1/2) de diamètre. Son tube a deux millimètres de diamètre intérieur. L'échelle graduée à laquelle il est fixé est divisée en degrés de deux millimètres.

Première série d'expériences.

Je mis dans le réservoir de l'endosmomètre une solution d'une partie de sucre dans quatre parties d'eau. La densité de ce liquide était 1,083. Le réservoir, fermé avec un morceau de vessie, fut plongé dans de l'eau de pluie. Au bout d'une heure et demie d'expérience, j'avais obtenu 19 degrés 1/2 d'ascension. La densité du liquide sucré devait nécessairement avoir subi de la diminution par le fait de l'introduction de l'eau. Effectivement je trouvai cette densité réduite à 1,078; elle était, au commencement de l'expérience, à 1.083 : cela donne une densité moyenne de 1,080 pour cette première expérience.

Immédiatement après, je mis dans le réservoir du même endosmomètre une solution de deux parties de sucre dans quatre parties d'eau; sa densité était 1,145. Après une heure et demie d'expérience faite comme ci-dessus, j'avais obtenu 34 degrés d'ascension. La densité finale se trouva être 1,138, par conséquent la densité moyenne était 1,141 pour cette seconde expérience, à laquelle je fis immédiatement succéder la suivante.

Je mis dans le réservoir de l'endosmomètre une solution de quatre parties de sucre dans quatre parties d'eau; sa densité était 1.228. J'obtins en une heure et demie 53 degrés d'ascension. La densité du liquide sucré était réduite à 1.216, ce qui donna une densité moyenne de 1,222.

Les résultats de cette expérience prouvent que la vitesse de l'endosmose n'est point du tout proportionnelle aux quantités de sucre dissous dans l'eau. En effet, ces quantités sont 1, 2, 4 : or, en prenant pour base d'une semblable progression le le nombre de degrés de la première expérience qui est 19 1/2, on aurait pour les élévations ou pour les vitesses proportionnelles des trois expériences, 19 1/2. 39. 78, tandis que l'observation donne 19 1/2. 34, 53. Ce résultat de l'expérience n'offre également aucun rapport avec les densités respectives de trois liquides sucrés. Les densités moyennes de ce liquide sont : 1,080, 1,141, 1,222 : or, en établissant une progression semblable, dont le premier terme serait 19 1/2, on aurait 19 1/2, 20, 22, ce qui s'éloigne considérablement du résultat de l'expérience; mais ce qui s'en rapproche tout à fait, c'est une progression dont le premier terme serait de même 19 1/2, et qui serait comme les nombres 0,080, 0,141, 0,222, qui expriment la différence de la densité de chacun des trois liquides sucrés avec la densité de l'eau, qui est 1. Cette nouvelle progression serait 19 1/2, 34, 54 : or, l'observation donne 19 1/2, 34, 53. Il n'y a évidemment entre ces résultats que la légère différence qui ne peut manquer de résulter des inexactitudes inévitables de l'expérience.

Deuxième série d'expériences.

Le même endosmomètre, fermé avec un morceau de vessie, fut mis en expérience successivement avec les trois liquides sucrés ci-après :

1° Eau sucrée, densité primitive, 1.048; densité finale, 1,043 ; densité moyenne, 1,044; ascension du liquide, 10 degrés 1/4 en une heure et demie;

2° Eau sucrée, densité primitive, 1,075; densité finale, 1,065; densité moyenne, 1,070; ascension du liquide, 17 degrés en une heure et demie;

3° Eau sucrée, densité primitive, 1,145; densité finale, 1,133; densité moyenne, 1,139; ascension du liquide, 32 degrés 1/2 en une heure et demie.

Les ascensions ou les vitesses proportionnelles de l'endosmose sont ici 10 1/4, 17, 32 1/2. Les différences de la densité moyenne des trois liquides sucrés avec la densité de l'eau, sont 0,044, 0,070, 0,139: or, en établissant une progression semblable sur 10 1/4, vitesse de l'endosmose donnée par la première expérience, on aurait 10,25, 16,3, 32,3. Ce résultat du calcul est, comme on le voit, presque entièrement semblable au résultat de l'expérience.

Troisième série d'expériences.

L'endosmomètre précédent fut fermé avec une lame d'argile très-compacte, épaisse de deux lignes et demie. J'y mis en expérience successivement les trois liquides sucrés ci-après :

1° Eau sucrée, densité primitive, 1,049; densité finale, 1,043; densité moyenne, 1,046; ascension du liquide, 9 degrés en six heures d'expérience;

2° Eau sucrée, densité primitive, 1,082; densité finale, 1,076; densité moyenne, 1,079; ascension du liquide, 14 degrés 1/2 en six heures d'expérience;

3° Eau sucrée, densité primitive, 1,145; densité finale, 1,136; densité moyenne, 1,140; ascension du liquide, 30 degrés en six heures d'expérience.

Les ascensions dans un temps égal, c'est-à-dire les vitesses de l'endosmose, sont 9, 14 1/2, 30. Les excès de la densité moyenne des liquides sucrés sur la densité de l'eau, sont 0,046, 0,079, 0,140 : or, en établissant une progression semblable, dont le premier terme est 9, on trouve 9, 15,6, 28. Ce résultat du calcul diffère assez peu du résultat de l'expérience, pour qu'on puisse admettre que leur différence tient à des causes accidentelles d'erreur. Nous allons en acquérir la preuve tout à l'heure.

Quatrième série d'expériences.

Les trois expériences précédentes ont été faites avec une lame d'argile qui servait pour la première fois. Les expériences suivantes ont été faites avec la même lame d'argile qui servait sans interruption aux expériences depuis deux jours, et qui, par conséquent, était plus complétement imbibée, et plus facilement perméable que dans le principe.

1° Eau sucrée, densité primitive, 1,047; densité finale, 1,043; densité moyenne, 1,045; ascension du liquide, 3 degrés 1/2 en une heure et demie.

2° Eau sucrée, densité primitive, 1,258; densité finale, 1,252; densité moyenne, 1,255; ascension du liquide, 19 degrés 1/2 en une heure et demie.

Les ascensions du liquide ou la vitesse de l'endosmose sont 3 1/2, 19 1/2. Les excès de la densité moyenne des liquides sucrés sur la densité de l'eau, sont 0,045, 0,255. Le calcul de l'ascension établi sur cette proportion donne 3 1/2, 10, résultat évidemment semblable à celui que donne l'expérience. Ici nous trouvons la cause de l'erreur que nous avons soupçonnée dans la troisième série d'expériences. Nous voyons que, dans cette troisième série, l'eau sucrée, dont la densité moyenne est 1,046, a produit une ascension de 9 degrés en six heures, tandis que, dans la quatrième série, l'eau sucrée, dont la densité moyenne est 1,045, a produit trois degrés 1/2 d'ascension en une heure et demie, ce qui donnerait 14 degrés en six heures. On voit par là que la même lame d'argile peut, avec les mêmes liquides, donner des résultats d'endosmose très-différents. Lorsque cette lame est en expérience depuis un certain temps, et qu'elle est bien complétement imbibée, elle opère plus d'endosmose qu'elle n'en opérait dans le principe. C'est pour cela que la dernière expérience de la troisième série offre un résultat supérieur à celui qui est donné par le calcul.

Il résulte définitivement de ces expériences, que les vitesses de l'endosmose produites par les diverses densités d'un même liquide intérieur, sont proportionnelles aux excès de la densité de ces liquides intérieurs sur la densité de l'eau, qui est le liquide extérieur.

Pour mesurer la force de l'endosmose, j'ai fait construire un appareil à peu près semblable à celui dont Hales, et, après lui, MM. Mirbel et Chevreul, se sont servis pour mesurer la force ascensionnelle de la séve de la vigne. Cet appareil est un endosmomètre (fig. 3) dont le tube, au lieu d'être droit, est courbé deux fois sur lui-même. Par l'ouverture supérieure *d* de la grande branche ascendante, je verse du mercure, qui tombe dans la courbure inférieure *c*, où il se met de niveau en *g*. Au sommet de la courbure supérieure est une ouverture *b*, par laquelle j'introduis le liquide que je veux mettre en expérience dans le réservoir *a*. Je remplis du même liquide la partie *cb*, ainsi que la partie *bg*. La pression de la colonne *bg* de liquide refoule le mercure jusqu'en *f*, et le porte jusqu'en *i* dans la branche ascendante *cd*; alors je ferme l'ouverture *b*, avec un bouchon très-solidement maintenu par un coin placé entre ce bouchon et un épaulement que porte la planche sur laquelle l'appareil est fixé. De cette manière, il n'y a point d'air dans la partie *ebf* du tube; elle est remplie du même liquide que contient le réservoir *a*. L'ouverture *o* du réservoir est fermée avec trois morceaux de vessie superposés, lesquels sont fixés très-solidement au moyen de ligatures, dans les deux gorges circulaires dont le réservoir est muni. Je fortifie cet assemblage par dehors par l'addition d'un morceau de fort canevas. L'ouverture *o* du réservoir a cinq centimètres (1 pouce 10 lignes) de diamètre. Lorsqu'on veut faire marcher l'expérience, on plonge entièrement le réservoir *a* dans un vase plein d'eau *h*, que l'on peut ôter et remettre à volonté sans déranger l'appareil. Dans l'état ou se trouve l'appareil par la description que je viens de donner, la membrane qui ferme l'ouverture *o* de l'endosmomètre n'est pressée que par la colonne de liquide *eb*. La colonne *ci* de mercure est égale en pesanteur à la colonne *fc* de mercure, plus la colonne *fb* de liquide.

Cet appareil étant mis en expérience, l'endosmose introduit l'eau du vase *h* dans le réservoir *a*. Le volume du liquide intérieur étant ainsi augmenté, la surface *f* du mercure est refoulée en bas, et la surface *i* prend un mouvement ascensionnel. Le diamètre intérieur de la branche descendante *bc* est beaucoup plus considérable que ne l'est le diamètre intérieur de la branche ascendante *cd*, en sorte qu'une faible dépression de la surface *f* du mercure correspond à une ascension plus considérable de la surface du mercure en *i*. Sans cela on ne pourrait observer en *i* qu'une ascension égale à *fc*, ce qui serait trop peu considérable; d'ailleurs, la dépression du mercure en *f* est diminuée par la dépression qu'éprouve la membrane *oo*, dépression qui est d'autant plus considérable, que la colonne de mercure est plus élevée en *i*. Cette dépression de la membrane *oo* est ici sans inconvénient, et la force de l'endosmose s'apprécie d'une manière exacte par la pesanteur de la colonne de mercure comprise entre les deux niveaux *fi*, en diminuant sur le poids de cette colonne le poids de la colonne *fb* du liquide, et en y ajoutant le poids de la colonne *eb* du liquide intérieur, dont la pesanteur spécifique est connue. Ce calcul ne se fait qu'à la fin de l'expérience, pendant le cours de laquelle il n'est besoin que de constater l'existence du mouvement ascensionnel du mercure en *i*. Lorsque ce mouvement ascensionnel s'arrête, l'expérience est terminée.

La gomme arabique et le sucre sont les seules substances en solution dont je me sois servi dans mes expériences sur la force de l'endosmose. J'ai fini par donner la préférence au sucre, qui a sur la gomme l'avantage très-considérable d'agir sur la membrane de l'endosmomètre, comme substance conservatrice, en retardant sa putréfaction, propriété tout à fait étrangère à la gomme. Lorsque le liquide inté-

rieur acquiert une odeur putride, il cesse d'être propre à l'endosmose, et cela par l'effet de l'hydrogène sulfuré que développe toute putréfaction animale. Or, on prévient cet effet, en mettant dans le réservoir de l'endosmomètre une solution aqueuse de sucre suffisamment chargée; alors il n'y a plus que la partie extérieure de la membrane dont la putréfaction commençante puisse imprégner d'hydrogène sulfuré l'eau dans laquelle baigne le réservoir de l'endosmomètre. Lorsque cela arrive, l'endosmose s'arrête, mais elle recommence de suite, en mettant de nouvelle eau pure dans le vase où baigne le réservoir. D'après cette observation, j'avais soin de changer souvent cette eau extérieure. Une solution d'une partie de gomme dans trois parties d'eau, solution dont la densité était 1,095, avait élevé le mercure à 75 centimètres (28 pouces). C'était la limite du tube de mon appareil, mais ce n'était pas celle de la force d'endosmose qui existait dans cette circonstance. Je construisis donc un endosmomètre dont le tube avait plus d'étendue, et je me servis exclusivement d'eau sucrée dans les expériences subséquentes. Ces expériences, que j'ai multipliées pendant plus de deux mois, exigent de la patience. Ce n'est que par de nombreux tâtonnements que je suis parvenu à des résultats tels que vont les offrir les expériences choisies que je vais exposer. Voici comment je procédais à ces expériences. Le réservoir de l'endosmomètre étant rempli du liquide sucré dont la densité m'était connue, et ce réservoir étant plongé dans l'eau, je versais du mercure dans la grande branche ascendante de l'endosmomètre par l'ouverture *d*, et cela jusqu'à une hauteur arbitraire, mais de beaucoup inférieure à la hauteur à laquelle la colonne de mercure devait être portée par la force de l'endosmose. Mes expériences antécédentes m'avaient fourni des données approximatives à cet égard. J'attendais que le mercure eût monté dans le tube par l'impulsion de la force d'endosmose; alors j'ajoutais une certaine quantité de mercure à la colonne, en le versant par l'ouverture supérieure *d* du tube. J'attendais encore que l'endosmose eût fait monter la colonne; alors j'ajoutais de nouveau mercure. Je cessais d'opérer cette addition à la hauteur de la colonne, lorsque je voyais, par l'extrême lenteur de son ascension, que la force de l'endosmose approchait de sa limite; alors je laissais cette force opérer seule l'ascension du mercure, jusqu'au point où cette ascension s'arrêtait définitivement; alors je calculais, comme je l'ai dit plus haut, la pesanteur de la colonne de mercure soulevée par l'endosmose. J'évacuais ensuite le réservoir de l'endosmomètre par l'ouverture *b*, et je mesurais la densité ou la pesanteur spécifique du liquide sucré extrait de ce réservoir. Cette densité finale devait être seule prise en considération, puisque c'est sous son influence que s'était terminée l'ascension de la colonne de mercure. Ces explications données, je vais exposer trois des expériences par lesquelles je suis parvenu à la connaissance de la loi qui préside à la force de l'endosmose.

J'ai préparé trois solutions aqueuses de sucre, dont les densités étaient 1,035, 1,070, 1,140. Cette dernière contenait un peu moins d'une partie de sucre sur deux parties d'eau. Les excès des densités de ces trois solutions sur la densité de l'eau étaient, comme on voit, dans la progression 1, 2, 4.

Je mis dans le réservoir de l'endosmomètre la solution sucrée 1,035, et je le chargeai d'une colonne de mercure d'un pouce de hauteur. L'expérience fut conduite comme il a été dit plus haut; et au bout de vingt-huit heures, l'ascension de la colonne de mercure s'arrêta à 286 millimètres (10 pouces 7 lignes). Je fais entrer dans cette estimation le poids de la colonne d'eau sucrée qui pesait immédiatement sur la membrane et l'endosmomètre. Le liquide sucré, pesé après l'expérience, se trouva réduit à la densité de 1,02, densité qui est à peu près celle d'une solution qui contient une partie de sucre sur seize parties d'eau.

Immédiatement après cette première expérience, je mis dans le réservoir de l'en-

dosmomètre la seconde solution sucrée 1,070, et je la chargeai d'abord d'une colonne de mercure de 27 centimètres (10 pouces) de hauteur. L'expérience dura trente-six heures. Au bout de ce temps, l'ascension de la colonne de mercure s'arrêta, et j'évaluai sa hauteur à 617 millimètres (22 pouces 10 lignes). Le liquide sucré, pesé après l'expérience, était réduit à la densité de 1,053, densité qui est à peu près celle d'une solution qui contient une partie de sucre sur sept parties d'eau.

Je mis ensuite en expérience le troisième liquide sucré 1,140, et je le chargeai d'abord d'une colonne de mercure de 595 millimètres (22 pouces). L'expérience dura deux jours entiers. La colonne de mercure ayant terminé son ascension, je l'évaluai à un mètre 258 millimètres (46 pouces 9 lignes). Le liquide sucré, pesé après l'expérience, était réduit à la densité de 1,110, densité qui est exactement celle d'une solution qui contient une partie de sucre sur trois parties d'eau. Ces trois expériences furent faites dans un local dont la température, qui ne variait nullement, fut constamment à + 16 degrés 1/2 R.

On voit, par ces expériences, que la loi qui préside à la force de l'endosmose est la même que celle qui préside à sa vitesse, résultat qui devait être prévu. Nous avons vu que la vitesse de l'endosmose, produite par des liquides intérieurs de même nature et de densités diverses, l'eau étant toujours le liquide extérieur, que cette vitesse, dis-je, est proportionnelle aux excès des densités des liquides intérieurs sur la densité de l'eau. Nous trouvons la même loi pour la force de l'endosmose. En effet, dans les trois expériences précédentes, nous avons des liquides intérieurs dont les densités finales sont 1,025, 1,053, 1,110. Les excès de densité de ces liquides sur la densité de l'eau, sont 0,025, 0,053, 0,110. Or, établissons une progression semblable, en prenant pour premier terme 286 millimètres (10 pouces 7 lignes), hauteur de la colonne de mercure soulevée par l'endosmose du premier liquide sucré, nous aurons 286^{mm}, 606^{mm}, 1,258^{mm}, c'est-à-dire 10 p. 7 l., 22 p. 5 l., 46 p. 6 l. Or, l'observation donne 286^{mm}, 617^{mm}, 1,258^{mm}, c'est-à-dire 10 p. 7 l., 22 p. 10 l., 45 p. 9 l. Il n'y a évidemment ici, entre les résultats de l'expérience et ceux du calcul, que les différences légères qui sont inévitables dans les expériences de ce genre. Ainsi, il est démontré que la force de l'endosmose, produite par différentes densités d'un même liquide intérieur, et la température étant constante, est proportionnelle aux quantités qui expriment, dans deux expériences comparées, les excès de la densité des deux liquides intérieurs sur la densité de l'eau, qui est le liquide extérieur.

D'après cette loi, on peut calculer qu'avec l'endosmomètre qui a servi à ces expériences, et par la même température, le sirop de sucre, à la densité de 1,3, produirait une endosmose capable de soulever une colonne de 127 pouces de mercure, ou du poids de 4 atmosphères 1/2.

Le principe qui vient d'être établi que la vitesse et la force de l'endosmose produite par les diverses densités d'une même solution, sont proportionnelles aux excès de la densité de cette solution par la densité de l'eau séparée de cette même solution par une membrane, ce principe, dis-je, n'est point d'une application générale, et cela parce que l'énergie de l'endosmose ne dépend pas exclusivement de la différence de la densité des deux liquides mis ensemble en expérience ; cette énergie dépend aussi de certaines qualités indépendantes de la densité et propres à certains liquides. Ainsi, l'alcool quoique bien moins dense que l'eau, produit une endosmose très-énergique, dirigée de l'eau vers l'alcool, ces deux liquides étant séparés par une membrane. Les diverses solutions de substances organiques, les diverses solutions salines jouissent de même de certaines qualités spéciales qui leur donnent une énergie d'endosmose qui ne dépend point de leur densité. Il m'a paru qu'il serait important de déterminer par l'expérience quel est le pouvoir comparatif d'endosmose que possèdent certaines solutions, mises chacune à part et à même densité,

en expérience avec l'eau pure dont elles seraient séparées par une même membrane animale.

La mesure comparative de l'endosmose opérée par différents liquides mis en rapport avec l'eau pure, est assez difficile à établir d'une manière exacte. En effet, la membrane organique qui ferme un endosmomètre ne conserve point, pendant des expériences un peu longues, le même degré de perméabilité, et il en résulte que l'endosmose éprouve des variations qui sont tout à fait indépendantes des qualités physiques ou chimiques des liquides qui sont en expérience. La macération, en augmentant la perméabilité de la membrane de l'endosmomètre, augmente d'abord graduellement la quantité de l'endosmose. Lorsque cette perméabilité est devenue telle, par une macération prolongée, que le liquide contenu dans l'endosmomètre filtre au travers de la membrane en vertu de sa seule pesanteur, l'endosmose d'abord diminuée finit par s'abolir; on voit ainsi qu'il est impossible d'obtenir des résultats rigoureusement comparables en mesurant avec le même endosmomètre le pouvoir d'endosmose de différents liquides. Cependant c'est le seul moyen d'expérimentation que l'on puisse employer à cet égard, car si l'on mettait les liquides que l'on veut comparer dans des endosmomètres différents, on n'aurait point autant de garanties pour la similitude des conditions de l'endosmose que lorsqu'on fait des expériences successives avec le même endosmomètre. Pour éviter autant que possible les inconvénients signalés plus haut, il faut que les expériences successives que l'on fait avec le même endosmomètre soient de courte durée; il faut en outre multiplier ces expériences afin de pouvoir établir entre leurs résultats une moyenne qui ne pourra manquer d'être très-voisine de la vérité. C'est de cette manière que j'ai trouvé qu'à même densité une solution d'hydrochlorate de soude et une solution de sulfate de soude ont un pouvoir d'endosmose qui est dans le rapport de 1 à 2, ces solutions étant mises en rapport avec l'eau pure. J'ai trouvé de même qu'avec une égale densité, l'eau chargée de gomme arabique et l'eau sucrée ont un pouvoir d'endosmose que je suis bien tenté de considérer comme étant dans le rapport exact de 1 à 2, mais que la moyenne de plusieurs observations établit dans le rapport de 8 à 17. J'ai voulu comparer, sous le même point de vue, le pouvoir d'endosmose de l'eau chargée de deux substances solubles les plus répandues dans l'organisme animal, de la gélatine et de l'albumine. Je me suis servi pour cela de la gélatine fournie par la colle de poisson, et de l'albumine de l'œuf de poule.

L'eau gélatineuse de la colle de poisson ne conserve sa liquidité à la température de +10 à +20 degrés R, que lorsqu'elle ne possède point une densité supérieure à 1,01; elle contient alors 0,011 de son poids de gélatine; à une densité plus considérable elle se prend en gelée. J'ai donc dû m'en tenir à cette densité de 1,01 pour mes expériences avec l'eau gélatineuse. J'ai cherché ensuite à me procurer de l'eau albumineuse de la même densité. Ceci m'entraînera dans une petite digression.

Lorsqu'on met l'albumen de l'œuf de poule dans de l'eau, celle-ci dissout une quantité d'abord assez faible d'albumine, et la surface de l'albumen immergé se couvre d'une enveloppe blanchâtre; si l'on agite ce mélange, l'albumine se divise, la solution de l'albumine dans l'eau devient plus considérable, les flocons de l'albumen divisé deviennent blancs et tombent au fond de l'eau ayant l'apparence d'albumine coagulée. Un chimiste célèbre pense que l'albumen de l'œuf est composé d'un réseau solide dans les mailles duquel l'albumine soluble est contenue, et que l'eau venant à dissoudre cette dernière, le réseau solide reste à nu; ce serait lui qui formerait cette enveloppe blanchâtre qui recouvre l'albumen plongé dans l'eau. Mes expériences ne me permettent point d'adopter cette manière de voir, que réprouve également la physiologie. L'albumen de l'œuf est une substance sécrétée et par conséquent sans

organisation, n'ayant point de solides dans les mailles desquels les liquides seraient contenus. La substance blanchâtre qui apparaît à la surface de l'albumen plongé dans l'eau est le résultat d'une véritable coagulation de l'albumine, coagulation qui est opérée par le contact de l'eau. A ce sujet il est une remarque à faire : toutes les substances qui dissolvent l'albumine ont aussi, suivant les circonstances, le pouvoir de la coaguler, et réciproquement toutes les substances qui la coagulent ont aussi le pouvoir de la dissoudre. Ainsi, les alcalis qui dissolvent l'albumine lorsqu'ils sont faibles ou lorsqu'ils sont peu concentrés, la coagulent lorsque leur concentration est à un certain degré. Les acides dont l'effet le plus apparent est de coaguler l'albumine, la dissolvent aussi. Les acides phosphorique et acétique ne coagulent entièrement l'albumine que lorsque leur concentration est considérable; moins concentrés ils la dissolvent en grande proportion. Tous les autres acides, sans aucune exception, présentent les mêmes phénomènes. Ainsi l'acide hydrochlorique dissout l'albumine lorsqu'il est suffisamment étendu d'eau ; l'acide sulfurique et l'acide nitrique lui-même, lorsqu'ils sont étendus dans une quantité d'eau très-considérable, dissolvent une certaine quantité d'albumine. L'eau se comporte à cet égard comme un acide très-faible ; elle dissout une partie de l'albumine et elle coagule l'autre. Voici comment on peut s'en assurer. L'œuf de poule nouvellement pondu contient, outre l'albumine visqueuse et tenace qui existe seule dans les vieux œufs, un liquide albumineux très-coulant, dont la densité n'est que 1,04. Ce liquide albumineux, mêlé à l'eau, présente les mêmes phénomènes que ceux qu'offre dans le même cas l'albumine visqueuse. On le voit se dissoudre en partie et se précipiter en partie sous l'apparence de flocons blanchâtres. Certes, on ne peut admettre ici que l'albumine soluble soit contenue dans les mailles d'un solide. L'eau ainsi chargée d'albumine en solution étant ajoutée à de nouvelle albumine très-liquide de l'œuf, en dissout une plus grande proportion que l'eau pure, et n'en coagule plus qu'une très-petite partie. Cette propriété qu'a l'albumine de l'œuf d'être en partie dissoute et en partie coagulée par les acides faibles et par l'eau est fort remarquable, et mérite d'être soigneusement étudiée par les chimistes ; elle semblerait indiquer que l'albumine de l'œuf contient deux substances albumineuses différentes. Je reviens à mes expériences après cette petite digression qui était nécessaire pour faire voir comment, par l'addition de l'eau à l'albumine de l'œuf, j'ai obtenu un liquide albumineux d'une densité 1,01 égale à la densité de l'eau gélatineuse à laquelle je voulais le comparer sous le point de vue du pouvoir d'endosmose. Je trouvai qu'à cette densité le liquide albumineux contenait 0,041 de son poids d'albumine, quantité parfaitement égale à celle de la gélatine que contenait l'eau gélatineuse de même densité. Ainsi mes deux liquides albumineux et gélatineux étaient exactement semblables sous le double point de vue de leur densité et de la quantité de matière organique qu'ils contenaient dans un même poids d'eau. Pour étudier le pouvoir d'endosmose de ces deux liquides, je me suis servi de l'endosmomètre représenté pl. 1, fig. 1. Le réservoir de cet endosmomètre était fermé par un morceau de vessie ; rempli par l'un des deux liquides ci-dessus, il était plongé dans de l'eau de pluie.

On peut déterminer de deux manières la quantité comparative de l'endosmose produite par deux liquides mis successivement dans le même endosmomètre :

1° En observant le nombre de degrés dont le liquide s'élève dans le tube de l'endosmomètre pendant un temps déterminé. Les expériences faites successivement avec chacun des deux liquides étant d'égale durée, l'endosmose opérée par chacun de ces deux liquides est en raison directe du nombre de degrés parcourus par ces liquides dans le tube de l'endosmomètre. C'est le liquide dont l'ascension est la plus considérable dans le même temps qui a le plus de pouvoir d'endosmose.

2° En observant le temps que le liquide ascendant dans le tube de l'endosmomètre met à parvenir à un degré déterminé dans les expériences faites successivement avec chacun des deux liquides; alors l'endosmose opérée par chacun de ces deux liquides est en raison inverse des temps. C'est le liquide qui, dans sa marche ascendante, parvient dans le moins de temps au degré fixé, qui a le plus de pouvoir d'endosmose.

J'ai mis en usage ces deux manières de déterminer la quantité comparative de l'endosmose dans les expériences que j'ai faites à cet égard sur l'eau gélatineuse et sur l'eau albumineuse dont la densité était également 1,01. J'ai fait avec ces deux liquides dix expériences en variant la durée de ces dernières. Dans trois de ces expériences comparatives, le pouvoir d'endosmose de l'eau gélatineuse a été au pouvoir d'endosmose de l'eau albumineuse dans le rapport exact de 1 à 4; dans quatre expériences ce rapport a été un peu plus fort; dans trois expériences il a été un peu plus faible. En prenant la moyenne de ces expériences, j'ai obtenu le rapport de 12 à 49, rapport qui ne diffère presque point du rapport de 1 à 4. Ainsi je pense que l'on peut considérer ce dernier rapport de 1 à 4 comme exprimant exactement le rapport du pouvoir d'endosmose de l'eau gélatineuse au pouvoir d'endosmose de l'eau albumineuse, l'eau pure étant, pour l'une et l'autre, le liquide extérieur à l'endosmomètre.

Le sucre est de toutes les substances végétales celle qui, dissoute dans l'eau, possède le plus de pouvoir d'endosmose. J'ai dit plus haut que j'avais trouvé le rapport de 8 à 17 entre l'endosmose opérée par l'eau chargée de gomme arabique et l'eau sucrée de même densité. J'ai recherché quel était le rapport du pouvoir d'endosmose de l'eau sucrée et de l'eau albumineuse de la même densité 1,01, j'ai trouvé que ce rapport était approximativement celui de 11 à 12. En établissant, d'après ces données, les rapports du pouvoir d'endosmose de l'eau gommée, de l'eau sucrée, de l'eau gélatineuse et de l'eau albumineuse d'égale densité, nous voyons que ces quatre liquides se trouvent placés dans l'ordre et dans les rapports suivants :

Eau gélatineuse 3, eau gommée 5,17, eau sucrée 11, eau albumineuse 12.

Ainsi, de toutes les substances organiques solubles dans l'eau, l'albumine est celle qui a le plus grand pouvoir d'endosmose, et la gélatine une de celles dont le pouvoir d'endosmose est le plus petit, et cela en passant au travers d'un morceau de vessie.

Lorsque je fis mes premières expériences sur l'endosmose, expériences publiées en 1826, je vis et j'annonçai que, dans ce phénomène, les acides offraient un mode d'action opposé à celui que présentaient les alcalis. La solution aqueuse de l'un quelconque de ces derniers étant séparée de l'eau pure par une membrane animale, le courant d'endosmose est dirigé de l'eau vers la solution alcaline; il me parut que l'inverse avait lieu en employant un acide en remplacement de l'alcali. Je revins sur cette assertion trop absolue en 1828 : je n'avais pas essayé l'action de beaucoup d'acides; en étendant mes recherches, je vis que le vinaigre et les acides nitrique et hydrochlorique, étant séparés de l'eau par un morceau de vessie, le courant d'endosmose était dirigé de l'eau vers l'acide. Quant aux acides sulfurique et hydrosulfurique, il me parut qu'ils étaient complétement incapables de produire l'endosmose; je leur donnai en conséquence la qualification de liquides *inactifs* par rapport à l'endosmose. Ce langage métaphorique, introduit dans l'énoncé d'une théorie physique, annonçait suffisamment que la véritable théorie de ces phénomènes était encore loin d'être connue : il fallait de nouvelles recherches tant pour établir la certitude des faits observés que pour les coordonner en théorie véritablement physique; cependant j'ai négligé longtemps de m'en occuper. Les recherches que je vais exposer ici, révéleront une série de faits nouveaux fort importants sur la voie desquels je

m'étais trouvé, et qui m'avaient échappé. L'incertitude dans laquelle j'étais resté relativement à l'anomalie que me présentaient les acides soumis aux expériences d'endosmose, provenait de ce que j'avais toujours placé les acides au-dessus de l'eau, dont ils étaient séparés par une membrane animale. Certains acides, tels que l'acide hydrochlorique à des degrés très-divers de densité, et l'acide nitrique seulement à des degrés assez élevés de densité, m'avaient offert l'endosmose, dont le courant était dirigé de l'eau inférieure vers l'acide supérieur, en sorte que l'acide s'élevait graduellement dans le tube de l'endosmomètre. J'avais vu, au contraire, l'acide sulfurique assez étendu d'eau et l'acide hydrosulfurique, placés dans les mêmes circonstances que les acides ci-dessus, descendre toujours et graduellement dans le tube de l'endosmomètre. J'en conclus, à tort, que ces acides ne produisaient point d'endosmose, et qu'ils filtraient mécaniquement, par l'effet de leur pesanteur, vers l'eau qui leur était inférieure et dont ils étaient séparés par un morceau de vessie. Des recherches reprises sur cet objet, m'ont enfin éclairé sur la marche de ces phénomènes. Ce fut l'acide oxalique qui fit briller à mes yeux la première lueur à cet égard. Ayant mis dans un endosmomètre fermé par un morceau de vessie, une solution d'acide oxalique, et ayant plongé le réservoir de l'instrument dans l'eau, je fus surpris de voir que le liquide acide s'abaissait rapidement dans le tube de l'endosmomètre, et s'écoulait vers l'eau inférieure, en filtrant au travers de la membrane animale séparatrice. J'eus alors l'idée de faire une disposition inverse des deux liquides, je mis de l'eau dans l'endosmomètre, et je plongeai son réservoir dans la solution d'acide oxalique. Je vis alors avec étonnement l'eau monter rapidement dans le tube de l'instrument, en sorte que, contrairement à tout ce que j'avais observé jusqu'alors, le courant d'endosmose était dirigé de l'acide vers l'eau. Voici le détail de cette expérience : Ayant mis de l'eau de pluie dans le réservoir de l'endosmomètre, je plongeai ce réservoir, fermé par un morceau de vessie, dans une solution d'acide oxalique dont la densité était 1,045 (11,6 parties d'acide cristallisé, sur 100 de solution); la température était à + 25 degrés centésimaux. L'ascension de l'eau dans le tube de l'endosmomètre a duré pendant trois jours en diminuant graduellement de vitesse. Cette ascension étant devenue presque imperceptible, j'évacuai l'endosmomètre, dans lequel je trouvai de l'eau chargée d'acide oxalique. L'acide extérieur était réduit à la densité 1,033. Ainsi, en même temps que l'acide inférieur avait pénétré dans l'eau par endosmose, l'eau supérieure avait pénétré dans l'acide par exosmose, et en avait diminué la densité; mais la perméation de l'eau avait été moins considérable que celle de l'acide, en sorte que l'eau supérieure, augmentée de volume, s'était élevée dans le tube de l'endosmomètre. Ainsi, nous voyons encore ici bien évidemment l'existence des deux courants opposés et inégaux. Ayant remis de l'eau de pluie dans l'endosmomètre, je plongeai son réservoir dans l'acide oxalique ci-dessus mentionné, dont la densité était devenue 1,033. Au bout de deux jours, l'ascension étant devenue presque imperceptible, j'évacuai l'endosmomètre, qui se trouva contenir, comme précédemment, de l'eau chargée d'acide oxalique; la densité de l'acide extérieur était devenue 1,025. Je remis dans ce même acide l'endosmomètre que j'avais de nouveau rempli d'eau de pluie. L'endosmose eut lieu, mais avec moins de vitesse que précédemment, Ayant interrompu l'expérience au bout de vingt-quatre heures, je trouvai la densité de l'acide extérieur réduite à 1,023; l'eau intérieure contenait de l'acide, comme à l'ordinaire. Je réduisis à 1,01 la densité de l'acide oxalique extérieur, et l'eau placée dans l'endosmomètre me donna encore une endosmose assez énergique. Je réduisis la densité de cet acide à 1,005 (1,2 d'acide sur 100 de solution), et l'endosmose fut encore très-remarquable.

Dans ces expériences, j'ai vu que l'endosmose était d'autant plus rapide que

l'acide oxalique extérieur était plus dense, en sorte que la facilité de perméation de cet acide au travers d'une membrane animale croît avec la densité de sa solution aqueuse. Ainsi, nous voyons dans cette expérience un liquide plus dense que l'eau, lequel cependant forme le courant d'endosmose ou le *courant fort*, tandis que l'eau qui est opposée forme le contre-courant d'exosmose ou le *contre-courant faible*. Ceci est contraire à tout ce que j'avais observé précédemment. Quelle peut être la cause de ce nouveau phénomène? Les membranes animales livreraient-elles plus facilement passage à une solution d'acide oxalique qu'à l'eau au travers de leur tissu? C'est ce que j'ai recherché par les expériences suivantes.

La filtration d'un liquide par l'effet de la pesanteur au travers d'une lame poreuse dont les canaux capillaires sont très-petits, n'est facilement appréciable que lorsque la face inférieure de cette lame poreuse est baignée par ce même liquide. Ce n'est que de cette manière qu'on peut apprécier la filtration des liquides au travers d'une membrane animale dont le tissu est serré, telle, par exemple, qu'un morceau de vessie. Il est nécessaire que la face inférieure de la membrane soit baignée par le même liquide que celui qui repose sur la face supérieure, afin qu'aucune cause étrangère ne modifie sa filtration. Nous savons, en effet, que l'hétérogénéité des deux liquides, en produisant l'endosmose, dénaturerait complétement les effets de la simple filtration. Si donc je veux éprouver la filtration de l'eau au travers d'une membrane, j'adapte cette membrane au réservoir d'un endosmomètre que je remplis d'eau, laquelle s'élève à une certaine hauteur dans le tube de l'instrument. J'applique ensuite la face inférieure de cette membrane sur la surface de l'eau contenue dans un vase inférieur. L'eau contenue dans l'endosmomètre filtre au travers de la membrane et se déverse dans l'eau du vase inférieur; la quantité de cette filtration dans un temps donné est marquée par l'abaissement de l'eau dans le tube gradué de l'instrument. Si je veux éprouver comparativement la filtration d'une solution aqueuse quelconque, je place cette solution aqueuse dans le même endosmomètre dont la membrane est alors baignée extérieurement par la même solution aqueuse, et j'observe quelle est la quantité de son abaissement dans le tube de l'instrument pendant un temps égal à celui qui a été employé pour la filtration de l'eau. Il est nécessaire de commencer par éprouver la filtration de l'eau, et l'on passe ensuite à l'épreuve de la filtration de la solution aqueuse; mais il faut avoir soin alors de laisser tremper pendant un quart d'heure au moins la membrane de l'endosmomètre dans la solution aqueuse dont on veut éprouver la filtration, afin qu'elle s'imbibe complétement de ce dernier liquide et qu'elle remplace l'eau qui imbibait la membrane. Sans cette précaution, les résultats de la seconde expérience seraient fautifs. Il faut également avoir soin que les circonstances des deux expériences comparatives soient exactement semblables. C'est de cette manière que j'ai procédé pour éprouver comparativement la filtration de l'eau et celle de la solution aqueuse d'acide oxalique au travers d'un morceau de vessie. J'ai trouvé qu'à la température de + 21° cent., la filtration de l'eau de pluie étant représentée par 24, la filtration d'une solution aqueuse d'acide oxalique à la faible densité de 1,005 (1, 2 d'acide sur 100 de solution) était représentée par 12; une solution de ce même acide étant employée à la densité 1,01, sa filtration fut représentée par 9.

Il est donc prouvé que l'eau traverse les membranes animales plus facilement que ne le fait une solution d'acide oxalique. Pourquoi donc ce dernier liquide traverse-t-il la membrane animale plus facilement et en plus grande quantité que ne le fait l'eau, lorsque cette dernière baigne la face de la membrane opposée à celle qui est baignée par l'acide? C'est ce qui me paraît impossible à déterminer dans l'état actuel de nos connaissances.

La découverte de la singulière propriété

que possède l'acide oxalique, de diriger le courant d'endosmose vers l'eau, lorsqu'il est séparé de ce dernier liquide par une membrane animale, me fit penser que tous les autres acides présenteraient le même phénomène. Il me fut offert, en effet, d'abord par l'acide tartrique et par l'acide citrique. Ces deux acides sont bien plus solubles dans l'eau que ne l'est l'acide oxalique. La solution saturée de ce dernier à + 25 degrés centésimaux n'atteint que la densité 1,045 (11,6 parties d'acide cristallisé sur 100 de solution). Or, la solubilité des acides tartrique et citrique est très-grande; en sorte que leurs solutions aqueuses peuvent acquérir une densité bien plus considérable. J'expérimentai quels étaient les effets d'endosmose de ces deux acides tartrique et citrique aux différents degrés de densité de leurs solutions aqueuses, et je découvris, non sans surprise, que leurs solutions très-denses et leurs solutions moins denses, offrent l'endosmose dans des sens inverses. Ainsi, pour l'acide tartrique, lorsque sa solution possède une densité supérieure à 1,05 (11 parties d'acide cristallisé sur 100 de solution), et qu'elle est séparée de l'eau par une membrane animale, la température étant à + 25 degrés centésimaux, le courant d'endosmose est dirigé de l'eau vers l'acide; mais lorsque, dans les mêmes circonstances, la densité de la solution acide est inférieure à 1,05, le courant d'endosmose est dirigé de l'acide vers l'eau, de la même manière que nous venons de le voir pour l'acide oxalique. Ainsi, suivant le degré plus ou moins élevé de sa densité, l'acide tartrique présente l'endosmose dans deux sens opposés. A la densité moyenne de 1,05, et par une température de + 25 degrés centésimaux, il n'offre d'endosmose dans aucun sens, et cependant il ne laisse pas d'y avoir pénétration réciproque de l'acide et de l'eau que sépare la membrane animale; mais cette pénétration réciproque s'opère avec égalité de marche au travers de la membrane, en sorte qu'il n'y a point d'*endosmose*, c'est-à-dire, point d'augmentation du volume de l'un des liquides aux dépens de la diminution du volume du liquide opposé. L'acide citrique présente exactement les mêmes phénomènes; la densité moyenne qui sépare ses deux endosmoses opposées est de même à peu près, 1,05, à la température de + 25 degrés cent. Ces faits me firent juger que si l'acide oxalique ne présentait que l'endosmose dirigée de l'acide vers l'eau, cela provenait de ce que sa solution à la température de + 25 degrés n'atteignait point la densité nécessaire pour que cette solution acide présentât l'endosmose dirigée de l'eau vers l'acide.

Les observations précédentes avaient été faites pendant les grandes chaleurs de l'été; le thermomètre centigrade indiquait + 25 degrés lorsque j'ai déterminé le *terme moyen de densité* de la solution d'acide tartrique, terme moyen de densité en deçà et au delà duquel l'endosmose opérée par cette solution acide et l'eau est dirigée vers l'eau ou vers l'acide. Il était important de savoir si l'abaissement de la température apporterait quelque modification dans ces phénomènes. J'ai donc répété ces expériences par une température de + 15 degrés centésimaux, et j'ai vu avec surprise que le *terme moyen de densité* dont il vient d'être question était considérablement déplacé dans le sens de l'augmentation de la densité du liquide acide. Ainsi, ce *terme moyen de densité* étant 1,05 (11 parties d'acide cristallisé sur 100 parties de solution) par une température de + 25 degrés centésimaux, il se trouva être 1,1 (21 parties d'acide cristallisé sur 100 parties de solution) par une température de + 15 degrés, c'est-à-dire, que la solution d'acide tartrique qui occupe ce nouveau *terme moyen* contient presque deux fois plus d'acide que n'en contenait la solution qui occupait le précédent *terme moyen*, lorsque la température était de 10 degrés centésimaux plus élevée. Cette première expérience indiquait que le *terme moyen de densité* dont il est ici question éprouverait de nouveaux déplacements dans le même sens par de nouveaux abaissements de température. C'est effectivement ce

qui est arrivé. A la température de + 8 degrés 1/2 centésimaux, la solution d'acide tartrique, à la densité de 1,1, n'offrit plus le *terme moyen* qui, à la température de + 15 degrés, séparait les deux endosmoses opposées : cette solution opérait alors franchement l'endosmose vers l'eau. Il me fallut augmenter sa densité jusqu'à 1,15 (30 parties d'acide sur 100 de solution), pour parvenir à un nouveau *terme moyen* au delà duquel l'endosmose était dirigée vers l'acide, et en deçà duquel l'endosmose était dirigée vers l'eau. La température étant abaissée à un quart de degré au-dessus de zéro, la solution d'acide tartrique, à la densité de 1,15, n'offrit plus le *terme moyen;* elle produisit l'endosmose vers l'eau, ce qui m'indiqua que ce *terme moyen* devait être cherché dans une plus grande densité de la solution d'acide tartrique. Je trouvai ce nouveau *terme moyen* correspondant à la température de 1/4 de degré au-dessus de zéro, dans la solution d'acide tartrique dont la densité était 1,21 (40 parties d'acide sur 100 de solution); toute solution d'acide tartrique supérieure en densité à 1,21 dirigeait alors le courant d'endosmose de l'eau vers l'acide, et toute solution du même acide, inférieure à la densité 1,21, dirigeait le courant d'endosmose de l'acide vers l'eau. Il résulte de ces expériences que l'abaissement de la température favorise l'endosmose vers l'eau, et que l'élévation de la température favorise l'endosmose vers l'acide. En effet, une même solution d'acide tartrique opère avec l'eau, tantôt l'endosmose vers l'acide, lorsque la température est élevée, tantôt l'endosmose vers l'eau, lorsque la température est abaissée. Il semblerait que l'abaissement de la température rendrait ici la perméation capillaire de la solution d'acide tartrique plus facile et plus prompte que celle de l'eau, et cela, suivant une certaine concordance entre le degré de la température et la densité de la solution acide. Ce phénomène serait analogue à celui qu'a fait connaître M. Girard, relativement à l'écoulement comparé de l'eau nitrée et de l'eau pure par un tube capillaire de verre [1]. Il a expérimenté, en effet, que, jusqu'à la température de + 10 degrés, une solution d'une partie de nitrate de potasse dans trois parties d'eau s'écoule plus vite que l'eau pure par un canal capillaire de verre, tandis que cette même solution s'écoule plus lentement que l'eau lorsque la température est supérieure à + 10 degrés. Pour savoir si cette analogie présumée est fondée, j'ai mesuré comparativement la durée de l'écoulement par un canal capillaire de verre de l'eau pure, et l'écoulement d'une solution d'acide tartrique dont la densité était 1,105 (21,8 parties d'acide sur 100 parties de solution). Par une température de + 7 degrés centésimaux, quinze centilitres d'eau s'écoulèrent par un canal capillaire de verre en cent cinquante-sept secondes; le même volume de la solution d'acide tartrique (densité 1,105) s'écoula en trois cent une secondes par le même canal capillaire. Ainsi, il n'y a aucune analogie à établir entre les résultats de l'expérience de M. Girard et le fait d'endosmose vers l'eau, qui a lieu lorsqu'à la température de + 7 degrés on sépare une solution d'acide tartrique (densité 1,105) de l'eau pure par une membrane animale. Au reste, je dois dire ici qu'une solution d'une partie de nitrate de potasse dans trois parties d'eau, étant séparée par une membrane de l'eau pure, j'ai toujours vu le courant d'endosmose dirigé de l'eau vers la solution de nitrate de potasse, et cela, aux températures comprises entre zéro et + 10 degrés, comme aux températures plus élevées. Cela prouve que l'endosmose est soumise à des lois tout à fait différentes de celles de la simple filtration capillaire. J'ajouterai que la solution d'acide tartrique (densité 1,105) ayant une *viscosité* presque double de celle de l'eau, et passant cependant par endosmose dans ce dernier liquide lorsqu'elle en est séparée par une membrane animale, et à la température de + 7 degrés centésimaux, cela s'ajoutera aux faits qui seront exposés plus bas, et qui prou-

[1] Mémoires de l'Académie des Sciences, 1816.

vent que l'endosmose ne dépend point généralement de la viscosité des liquides.

Les liquides acides sont jusqu'ici les seuls qui, séparés de l'eau par une membrane animale, aient offert le courant d'endosmose dirigé vers l'eau. Tous les acides, sans exception, offrent ce phénomène : ainsi, par une température de + 10 degrés C. l'acide sulfurique à la densité de 1,093 étant séparé de l'eau par un morceau de vessie, le courant d'endosmose est dirigé de l'eau vers l'acide. Par la même température, l'acide sulfurique réduit à la densité 1,054 étant placé dans l'endosmomètre dont le réservoir et une partie du tube sont plongés dans l'eau, le courant d'endosmose est dirigé de l'acide vers l'eau, en sorte que l'acide descend dans le tube de l'endosmomètre assez profondément au-dessous du niveau de l'eau extérieure. Entre ces deux endosmoses opposées, il existe nécessairement un *terme moyen* qui n'offre point du tout d'endosmose; ce *terme moyen* se trouve dans la densité 1,07 de l'acide sulfurique, la température étant toujours à + 10 degrés C. Alors les deux liquides que sépare la membrane animale de l'endosmomètre marchent l'un vers l'autre avec égalité au travers de cette membrane, en sorte que le liquide contenu dans l'endosmomètre reste pendant un certain temps à la même hauteur dans le tube de cet instrument.

L'acide sulfureux à la densité 1,02 étant séparé de l'eau par une membrane animale n'offre que la seule endosmose vers l'eau et avec assez d'énergie. J'ai obtenu ce résultat à la température de + 5 degrés et à celle de + 25 degrés C.

L'acide hydrosulfurique que j'ai employé possédait la densité de 1,00628 : étant séparé de l'eau par un morceau de vessie, il offre constamment l'endosmose vers l'eau. Mes expériences ont été faites avec ce même résultat depuis la température de + 4 degrés, jusqu'à celle de + 25 degrés C.

L'acide hydrochlorique est le plus puissant de tous les acides minéraux pour opérer la direction du courant d'endosmose de l'eau vers l'acide; il faut affaiblir considérablement sa densité pour qu'il présente, avec une membrane animale, la direction du courant d'endosmose de l'acide vers l'eau. Ainsi par une température de + 22 degrés centésimaux, l'acide hydrochlorique doit être réduit, par l'adjonction de l'eau, à la densité de 1,003, pour qu'il offre l'endosmose vers l'eau, lorsqu'il est séparé de ce dernier liquide par une membrane animale : à une densité plus forte, il offre l'endosmose vers l'acide. Lorsque la température est abaissée au-dessous de + 22 degrés, le même acide acquiert la propriété d'opérer l'endosmose vers l'eau, en possédant une plus forte densité. Ainsi, j'ai expérimenté que, par la température de + 10 degrés centésimaux, l'acide hydrochlorique à la densité de 1,017, offrait le *terme moyen* qui sépare l'endosmose vers l'acide de l'endosmose vers l'eau. Par cette même température, l'acide hydrochlorique à la densité de 1,02 offrait l'endosmose vers l'acide, et à la densité 1,015 présentait l'endosmose vers l'eau. Or, par une température plus élevée, l'acide hydrochlorique à la densité 1,015 présente l'endosmose vers l'acide. Ainsi, un abaissement de douze degrés centésimaux dans la température fait que le *terme moyen* de densité de l'acide hydrochlorique, *terme moyen* qui sépare les deux endosmoses opposées, monte du voisinage de la densité 1,003 à la densité 1,017, c'est-à-dire que la quantité d'acide ajoutée à l'eau est presque sextuplée.

Dans l'état actuel de nos connaissances, c'est à coup sûr un phénomène bien inexplicable que celui du changement de direction du courant d'endosmose, suivant le degré de densité de l'acide et suivant le degré de la température. L'étrangeté de ce phénomène apparaîtra encore davantage par l'observation qui va suivre. Jusqu'ici, c'est toujours par une membrane animale que j'ai séparé l'acide de l'eau; je sépare actuellement ces deux substances par une membrane végétale. On a vu plus haut que l'acide oxalique, séparé de l'eau par une membrane ani-

male, offre toujours l'endosmose de l'acide vers l'eau, quelle que soit la densité de l'acide, quelle que soit la température. J'ai rempli d'une solution de cet acide une gousse de baguenaudier (*colutea arborescens*). Cette gousse, ouverte seulement à l'un de ses bouts, et formant ainsi un petit sac, fut fixée, au moyen d'une ligature et par son ouverture, à un tube de verre. Ayant plongé cette gousse vésiculeuse remplie d'acide dans l'eau de pluie, l'endosmose se manifesta par l'ascension du liquide acide dans le tube de verre, c'est-à-dire, que le courant d'endosmose fut dirigé de l'eau vers l'acide. Un réservoir d'endosmomètre, pourvu d'une membrane d'*allium porrum*, ayant été rempli d'une solution d'acide oxalique et plongé ensuite dans de l'eau de pluie, l'acide s'éleva graduellement dans le tube de l'endosmomètre; en sorte que, dans cette expérience, le courant d'endosmose fut dirigé de l'eau vers l'acide, ce qui est l'inverse de ce qui a lieu lorsque le réservoir de l'endosmomètre est fermé par une membrane animale. Les acides tartrique et citrique, employés à des densités inférieures à 1,05, et par une température de + 25 degrés centésimaux, offrent l'endosmose vers l'eau avec une membrane animale; ils offrent, au contraire, l'endosmose vers l'acide avec une membrane végétale. J'ai essayé, à cet égard, des solutions d'acide tartrique décroissant graduellement de densité, depuis 1,05 (11 parties d'acide tartrique cristallisé sur 100 parties de solution) jusqu'à la diminution de la densité à 1,0004 (1 partie d'acide cristallisé sur 1000 parties de solution), et toujours j'ai obtenu l'endosmose vers l'acide. Mon endosmomètre était fermé avec une membrane mince et diaphane d'*allium porrum*, et je ne me servais que d'eau de pluie recueillie avec soin. L'abaissement graduel de la température, depuis + 25 degrés jusqu'à près de zéro, n'a rien changé à ce résultat. L'acide sulfurique, à la densité 1,0274, et par une température de + 4 degrés centésimaux, séparé de l'eau pure par une membrane végétale, m'a offert l'endosmose vers l'acide; séparé de l'eau par une membrane animale, il m'a offert l'endosmose vers l'eau.

L'acide hydrosulfurique, à la densité de 1,00628, qui, séparé de l'eau par une membrane animale, offre constamment l'endosmose vers l'eau, offre au contraire l'endosmose vers l'acide lorsqu'il est séparé de l'eau par une membrane végétale. Je n'ai fait cette dernière expérience qu'à la température de + 5 degrés. L'acide sulfureux, à la densité 1,02, étant séparé de l'eau par une membrane animale, offre d'une manière énergique l'endosmose vers l'eau, et cela à toutes les températures au-dessus de zéro jusqu'à + 25 degrés centésimaux. Je n'ai point fait d'expériences d'endosmose par des températures plus élevées. Lorsque l'acide sulfureux à la densité de 1,02 est séparé de l'eau par une membrane végétale, il n'offre ni l'endosmose vers l'acide, ni l'endosmose vers l'eau : il paraît alors soumis aux simples lois de l'écoulement par filtration. J'ai voulu voir l'effet d'endosmose qu'il produirait avec un endosmomètre fermé par une lame d'argile cuite, et j'ai vu, non sans surprise, qu'il produisait très-énergiquement l'endosmose vers l'eau. J'avais mis l'acide dans le réservoir de l'endosmomètre, et ce liquide s'élevait assez haut dans le tube de l'instrument, que je plongeai dans l'eau jusqu'à l'endroit où l'acide s'élevait dans le tube. L'acide s'abaissa pendant quatre heures dans le tube de l'endosmomètre, et parvint dans cet abaissement jusqu'à près de 12 centimètres au-dessous du niveau de l'eau extérieure; ensuite il remonta lentement dans le tube jusqu'au niveau de l'eau, et il s'y arrêta. Ainsi je vis que d'abord l'acide sulfureux avait descendu dans le tube au-dessous du niveau de l'eau par *endosmose vers l'eau*, et qu'il avait remonté par simple filtration vers le niveau de l'eau. Il n'y avait plus alors aucune endosmose ni vers l'eau, ni vers l'acide. L'acide sulfurique étendu d'eau, et pourvu ainsi de la densité 1,0549, se comporte comme l'acide sulfureux lorsqu'il est séparé de l'eau par une lame d'argile cuite; il présente d'abord l'endosmose vers l'eau, mais au bout

de quelques minutes cette endosmose s'arrête et n'est point remplacée par l'endosmose contraire ; il n'y a plus alors que simple filtration par l'effet de la pesanteur. L'acide hydrosulfurique se comporte exactement de même, étant séparé de l'eau par une lame d'argile cuite. Ce phénomène est d'autant plus singulier qu'il n'est point général. Ainsi l'acide oxalique présente l'endosmose vers l'acide, lorsque ce dernier est séparé de l'eau par une lame d'argile cuite. J'ai observé ce phénomène depuis +4 degrés jusqu'à 25 degrés centésimaux, et avec les plus fortes densités que puissent acquérir les solutions de cet acide aux diverses températures, comme avec de très-faibles densités de ces solutions. L'acide tartrique offre de même l'endosmose vers l'acide, lorsqu'il est séparé de l'eau par une lame d'argile cuite.

L'acide nitrique, à une densité un peu forte, offre l'endosmose vers l'acide, lorsqu'il est séparé de l'eau par une membrane animale. Ainsi, par une température de + 10 degrés centésimaux, cet acide, à la densité 1,12 ou à une densité plus forte, offre l'endosmose vers l'acide; à la densité 1,08 et dans les mêmes circonstances, il offre l'endosmose vers l'eau ; à la densité 1,09 il offre le *terme moyen* entre les deux endosmoses opposées. L'endosmose opérée par cet acide m'a offert un phénomène que je n'ai point observé en employant d'autres substances. Ayant mis quelques fragments très-petits de feuilles d'or dans l'acide nitrique (densité 1,12) que contenait le réservoir d'un endosmomètre avec un morceau de vessie et plongé dans l'eau, je vis ces petits fragments de feuilles d'or lancés par intervalles et avec vivacité, de bas en haut, dans l'acide nitrique. Ils retombaient lentement sur la surface de la membrane qui occupait le fond du réservoir de l'endosmomètre, et ils y demeuraient immobiles; l'instant d'après, ils recevaient une impulsion nouvelle, qui leur donnait derechef un vif mouvement ascendant; ils retombaient ensuite vers la membrane, au-dessus de laquelle ils s'élevaient de nouveau après une courte pause. Il n'y avait aucune simultanéité dans les mouvements d'ascension des petits fragments de feuilles d'or ; ces mouvements étaient tout à fait indépendants les uns des autres. Les mouvements rapides d'ascension étaient dus, on ne peut guère en douter, à l'impulsion de l'eau qui pénétrait par une irruption subite dans l'acide nitrique, en traversant par endosmose les canaux capillaires de la membrane, canaux sur lesquels était appuyé le petit fragment de feuille d'or, et qui avaient subitement livré passage au courant d'endosmose qui ne les parcourait point pendant l'instant d'avant. Cela semblerait prouver que, dans cette circonstance, le courant d'endosmose serait intermittent dans chaque canal capillaire. Les mouvements lents de descente des petits fragments de feuilles d'or sur la surface de la membrane, étaient évidemment dus à la pesanteur. Au reste, je me suis fait les questions suivantes, sans pouvoir les résoudre : Pourquoi les petits fragments de feuilles d'or ne rencontrent-ils jamais, dans leur chute vers la membrane, un des courants rapides ascendants, qui font monter les fragments de feuilles d'or voisins, et ne sont-ils point ainsi entraînés de nouveau vers le haut avant d'être retombés sur la surface de la membrane ? Pourquoi ne tombent-ils point accidentellement sur une place de cette membrane, où le courant rapide ascendant serait actuellement en exercice ? Pourquoi n'est-ce jamais qu'après une pause instantanée sur la face de la membrane, qu'ils sont lancés vivement vers le haut ? Ce phénomène singulier présente, comme on le voit, beaucoup d'obscurité et demande une nouvelle étude.

En faisant des expériences d'endosmose avec les acides, comme dans l'expérience précédente, on peut voir très-facilement le courant d'exosmose. Pour cela, il faut plonger le réservoir de l'endosmomètre qui contient de l'acide nitrique ou hydrochlorique, dans un bocal de verre plein d'eau. On voit alors l'acide qui traverse la membrane, descendre dans l'eau, où il forme des stries nombreuses semblables à une pluie abondante; malgré la force de

ce courant descendant ou de ce courant d'exosmose, le volume de l'acide contenu dans l'endosmomètre s'augmente, ce qui se manifeste par l'ascension de cet acide dans le tube de l'endosmomètre. Le courant ascendant ou le courant d'endosmose l'emporte donc sur le courant d'exosmose, malgré l'abondance de ce dernier.

La propriété que possèdent les acides d'opérer l'endosmose dans deux directions opposées m'avait échappé lors de mes premières expériences sur l'endosmose, en sorte que voyant, dans certains cas, le liquide acide placé dans l'endosmomètre descendre vers l'eau dans laquelle le réservoir de cet instrument était plongé, je croyais qu'il y avait alors abolition de l'endosmose, et que le liquide acide était incapable de la produire. Je n'avais point continué assez ce genre d'expériences pour voir le liquide acide descendre dans le tube de l'endosmomètre au-dessous du niveau de l'eau extérieure. Au reste, il arrive souvent que l'action des acides sur la membrane animale de l'endosmomètre altère cette membrane, de manière que les liquides qu'elle sépare ne peuvent plus offrir d'endosmose, et coulent l'un vers l'autre en vertu des seules lois de la pesanteur, et jusqu'à ce que leur niveau soit le même. L'endosmose est alors abolie. Dès mes premières expériences sur l'endosmose, j'ai noté ce fait, qu'un peu d'acide sulfurique ou hydrosulfurique ajouté à de l'eau gommée, fait que le courant d'endosmose cesse de se porter de l'eau vers l'eau gommée, en sorte que ce dernier liquide, au lieu de monter dans le tube de l'endosmomètre, s'abaisse graduellement dans ce tube. J'avais attribué généralement ce phénomène à l'abolition de l'endosmose; mais il est évident qu'il est dû, dans certains cas, à la direction du courant d'endosmose de l'acide vers l'eau. Ainsi, relativement à l'eau gommée acidifiée dont je viens de parler, placée au-dessus de l'eau dont elle était séparée par une membrane animale, elle s'abaissait dans le tube de l'endosmomètre, et s'écoulait vers l'eau sous-jacente, soit par abolition de l'endosmose, soit par le fait de l'existence de l'endosmose vers l'eau. L'expérience seule peut déterminer quelle est celle de ces deux causes qui fait descendre le liquide acide vers l'eau. Tous les acides, en les employant à la densité qui leur fait opérer l'endosmose vers l'eau, et en quantité suffisante, peuvent, par leur adjonction, vaincre la disposition que possèdera un liquide quelconque à opérer l'endosmose opposée : voici un exemple de ce phénomène. Le pouvoir d'endosmose de l'eau sucrée est des plus considérables, ainsi que je l'ai démontré. L'eau qui tient en solution un 16e seulement de son poids de sucre, produit une endosmose rapide dirigée de l'eau vers l'eau sucrée. Or, j'ai expérimenté qu'en ajoutant à cette eau sucrée une quantité d'acide oxalique égale en poids à celle du sucre qu'elle tient en solution, c'est-à-dire, un 16e de son poids, on intervertit le sens du courant d'endosmose, lequel ne marche plus alors de l'eau pure vers l'eau sucrée, mais bien de l'eau sucrée et acide vers l'eau pure, en sorte que l'acide oxalique entraîne, pour ainsi dire, de force l'eau sucrée à laquelle il est associé, dans la direction d'endosmose qui lui est propre. Ici, c'est le liquide dense et visqueux qui traverse la membrane animale avec plus de facilité et en plus grande quantité que ne le fait l'eau pure. J'ai dissous dans seize parties d'eau deux parties de sucre et une partie d'acide oxalique; j'ai plongé dans cette nouvelle solution le réservoir d'un endosmomètre fermé par un morceau de vessie et rempli d'eau pure. Celle-ci n'a point varié d'élévation dans le tube de l'instrument pendant deux heures que j'ai continué l'expérience. Ainsi il n'y a point eu d'endosmose. Cependant j'ai trouvé que l'eau contenue dans l'endosmomètre contenait beaucoup d'acide oxalique; cela était également apercevable par l'emploi de l'eau de chaux et par la dégustation. Ce dernier moyen y faisait également découvrir l'existence du sucre. Ainsi le liquide acide et sucré extérieur à l'endosmomètre avait pénétré dans l'eau que contenait cet instrument. Si cette introduction n'avait pas

augmenté le volume de l'eau, cela provient de ce que celle-ci avait perdu par l'effet du contre-courant descendant un volume égal à celui du liquide introduit dans l'endosmomètre par le courant ascendant. Ici il n'y avait point d'*endosmose,* bien qu'il existât encore deux courants antagonistes au travers de la membrane qui séparait les deux liquides. On ne doit point perdre de vue, en effet, que je ne donne le nom d'*endosmose* qu'à l'existence d'un *courant fort* opposé à un *contre courant faible*, courants antagonistes s'opérant simultanément au travers de la cloison qui sépare les deux liquides. Du moment que ces deux courants antagonistes deviennent égaux, il n'y a plus d'accumulation de liquide d'un côté, et dès lors il n'y a plus là d'effort de dilatation ou d'impulsion; en un mot, il n'y a plus d'*endosmose.*

C'est à l'acide hydrosulfurique que contiennent les liquides animaux putréfiés qu'il faut attribuer l'effet d'abolition de l'endosmose qu'ils opèrent. Le fait de cette abolition me frappa dès mes premières expériences sur l'endosmose. J'avais constamment observé qu'en mettant une solution de matière organique dans une petite vessie animale environnée d'eau, l'endosmose avait lieu pendant deux ou trois jours et finissait par s'arrêter. J'avais remarqué qu'alors le liquide contenu dans l'endosmomètre avait une odeur putride résultant soit de sa propre putréfaction, soit de celle de la vessie animale. J'obtenais de nouveau l'endosmose en remplaçant ce liquide putréfié par un liquide semblable, mais à l'état sain. J'attribuai dès lors cette abolition de l'endosmose à l'acide hydrosulfurique que contenait le liquide putréfié, et l'expérience me prouva que mon opinion à cet égard était fondée, car en ajoutant de l'acide hydrosulfurique à de l'eau gommée, par exemple, j'abolissais la propriété que possède la gomme en solution de produire l'endosmose. J'expérimentai alors que l'eau chargée de la substance soluble contenue dans de la matière fécale liquide prise dans les gros intestins d'une poule, et qui avait fortement l'odeur d'hydrogène sulfuré, ne produisait point du tout d'endosmose lorsqu'elle était séparée de l'eau pure par la vessie qui fermait l'endosmomètre dans lequel je l'avais placée. J'expérimentai même que de l'eau gommée qui opérait très-bien l'endosmose perdait cette propriété lorsque je la mêlais à une petite quantité de ce liquide fécal. Je n'aperçus point alors la véritable théorie de ces phénomènes; je crus que l'acide hydrosulfurique était en quelque sorte ennemi de l'endosmose, et je lui associai, sous ce point de vue, l'acide sulfurique. J'ai abandonné cette fausse manière de voir en découvrant la véritable théorie de ce phénomène. Tous les acides dirigent le courant d'endosmose vers l'eau, lorsqu'ils sont employés à une dose convenable. L'acide hydrosulfurique donne constamment cette direction au courant d'endosmose. Si l'on ajoute cet acide en quantité considérable à une solution de matière organique, telle que de la gomme, et que cette solution soit de faible densité, il lui communique sa propriété de diriger le courant d'endosmose vers l'eau, et on voit ce mélange placé dans l'intérieur d'un endosmomètre s'abaisser dans le tube de cet instrument au-dessous du niveau extérieur. Si la quantité d'acide hydrosulfurique ajoutée à la solution de gomme est moins considérable, ce liquide mélangé, séparé de l'eau pure par la vessie de l'endosmomètre, tendra à couler par endosmose vers l'eau avec autant de force que l'eau tendra à couler par endosmose vers ce même liquide mélangé, en sorte que ces deux tendances opposées et égales se contre-balanceront et se feront équilibre. Toute endosmose sera abolie et le liquide mélangé placé dans l'endosmomètre s'abaissera dans le tube de cet instrument par le seul effet de sa filtration descendante, par l'effet de la pesanteur. Si enfin la quantité d'acide hydrosulfurique ajoutée à la solution de gomme est fort petite, ce sera la puissance d'endosmose propre à cette solution de gomme qui l'emportera, et le liquide mélangé s'élèvera par endosmose dans le tube de l'endosmomètre.

Une membrane animale qui a subi l'action de l'acide hydrosulfurique, demeure moins apte qu'elle ne l'était auparavant à produire l'endosmose, dont le courant est dirigé de l'eau vers un liquide dense. Ayant pris un endosmomètre, dont la vessie avait été altérée par l'acide hydrosulfurique, et que j'avais ensuite soigneusement lavée dans l'eau pure, je remplis son réservoir avec de l'eau chargée de 0,05 de son poids de gomme arabique. Il ne se manifesta aucune endosmose. Ainsi, la vessie pénétrée d'acide hydrosulfurique était devenue incapable de diriger le courant d'endosmose vers la solution de gomme énoncée ci-dessus. Je laissai tremper pendant vingt-quatre heures le réservoir de l'endosmomètre muni de sa vessie hydrosulfurée dans l'eau pure; au bout de ce temps, je recommençai l'expérience ci-dessus avec la solution de gomme, laquelle alors produisit l'endosmose dans le sens qui lui est propre; mais avec moins d'énergie que ne l'aurait fait une vessie neuve ou non altérée par l'acide hydrosulfurique. J'ai fait des observations toutes semblables en employant un endosmomètre dont le réservoir était fermé avec une lame d'argile cuite. Ces expériences prouvent que c'est à la seule présence de l'acide hydrosulfurique dans les conduits capillaires de la cloison de l'endosmomètre qu'est due l'abolition de l'endosmose dans ces mêmes expériences. Ce résultat tend à prouver que c'est spécialement dans les conduits capillaires de la cloison poreuse de l'endosmomètre qu'existe la force qui produit l'endosmose.

Le sens opposé dans lequel s'opèrent l'endosmose vers l'eau produite par les acides d'une densité déterminée et l'endosmose opposée produite par d'autres liquides, devait faire penser qu'en mettant un de ces derniers liquides dans un endosmomètre fermé par une membrane animale, laquelle serait baignée en dehors par une solution d'acide pourvu d'une densité convenable, on obtiendrait de la part du liquide placé dans l'intérieur de l'endosmomètre une ascension beaucoup plus rapide que celle qui a lieu lorsque c'est l'eau pure qui est le liquide extérieur. C'est effectivement ce que l'expérience m'a fait voir. J'ai mis dans un endosmomètre fermé par un morceau de vessie une solution de cinq parties de sucre dans 24 parties d'eau. Ayant plongé le réservoir de l'endosmomètre dans l'eau, j'ai obtenu, dans l'espace d'une heure, une ascension du liquide intérieur représentée par le nombre 9. Le réservoir du même endosmomètre contenant la même eau sucrée, ayant été plongé dans une solution d'acide oxalique dont la densité était 1,014 (3,2 parties d'acide cristallisé sur 100 de solution), j'obtins, dans l'espace d'une heure, une ascension du liquide intérieur représentée par le nombre 27. Ainsi, la substitution de l'acide oxalique à l'eau pure, en dehors de l'endosmomètre, avait triplé l'introduction du liquide extérieur dans l'eau sucrée contenue dans l'endosmomètre, ou avait triplé l'endosmose. J'ai obtenu des résultats identiques avec les acides tartrique et citrique employés aux densités qu'il faut qu'ils possèdent pour opérer l'endosmose vers l'eau. Il semblerait résulter de ces dernières expériences, que l'eau chargée d'une faible proportion de l'un des acides dont il est ici question possède une *puissance de pénétration* plus grande que celle de l'eau pure au travers des membranes animales; mais une expérience directe, rapportée plus haut, prouve qu'il n'en est rien. C'est toujours l'eau pure qui, employée seule, a le plus de *puissance de pénétration* au travers des membranes animales. Si donc, dans les expériences que je viens d'exposer, l'eau chargée d'acide passe, au travers de la membrane animale, plus facilement et plus abondamment dans l'eau sucrée que ne le fait l'eau pure, cela provient évidemment de ce qu'il y a ici une action physique inconnue dans sa nature, et dont le siége paraît être dans les conduits capillaires de la cloison séparatrice des deux liquides, action qui imprime un mouvement de perméation croisée aux deux liquides, et cela quelquefois avec des vitesses respectives inverses de celles qui sembleraient devoir

exister, en ayant égard à la facilité de perméation propre à chacun de ces deux liquides. J'ai fait quelques recherches sur les phénomènes d'endosmose que présentent les liquides acides séparés des liquides alcalins par une cloison membraneuse animale. J'ai fait ces expériences par une température de + 22 degrés C. Un endosmomètre, dont le réservoir était fermé avec un morceau de vessie, reçut dans son intérieur une solution aqueuse de soude, dont la densité était de 1,069; en dehors je plaçai de l'acide hydrochlorique étendu d'eau, dont la densité était 1,193. Le courant d'endosmose se trouva dirigé de l'alcali vers l'acide dont la densité était supérieure. Conservant toujours à la solution de soude sa densité 1,069, je diminuai graduellement la densité de l'acide, et j'observai toujours la direction du courant d'endosmose de l'alcali vers l'acide jusqu'à ce que ce dernier fût arrivé à la densité 1,086. Alors il n'y eut plus d'endosmose. En continuant de diminuer la densité de l'acide, le sens du courant d'endosmose se trouva interverti; il fut dirigé de l'acide vers l'alcali, quoique la solution de ce dernier fût encore inférieure en densité à l'acide, à plus forte raison cette même direction intervertie du courant d'endosmose subsista-t-elle lorsque la densité de l'acide fut abaissée de manière à se trouver égale à celle 1,069 de la solution alcaline. A partir de ce point, j'ai diminué graduellement la densité de la solution alcaline en conservant toujours à l'acide la densité 1,069, et la direction du courant d'endosmose n'a pas varié, il a toujours été dirigé de l'acide vers l'acali. J'ai diminué le densité de la solution alcaline jusqu'à 1,00001, et le courant d'endosmose a toujours été dirigé vers elle malgré l'excessive supériorité de densité de l'acide.

On voit par ces expériences que les solutions acides et alcalines, séparées par un morceau de vessie, se comportent comme le font, dans le même cas, les solutions acides et l'eau pure, c'est-à-dire que le courant d'endosmose subit une interversion dans sa direction lorsque l'acide est amené à une certaine diminution de densité; alors, soit que ce soit l'eau pure qui soit opposée à l'acide, soit que ce soit une solution alcaline inférieure en densité à ce même acide, on observe ce phénomène véritablement paradoxal, que la direction du courant d'endosmose éprouve une interversion; et que cessant de se diriger vers l'acide, toujours cependant supérieur en densité, il se dirige ou vers l'eau pure, ou vers la solution alcaline dont la densité peut être amenée à une diminution excessive sans apporter de changement dans ce phénomène. Ainsi, dans ces expériences, l'acide se comporte avec l'eau pure comme il se comporte avec un alcali. J'ai obtenu des résultats analogues, en faisant les mêmes expériences avec l'acide sulfurique étendu d'eau et une solution de soude.

Je ferai observer que l'alcali, qui dans ces expériences agit comme l'eau pure, a beaucoup plus de puissance qu'elle pour déterminer l'interversion du courant d'endosmose. Ainsi, pour que le courant d'endosmose soit interverti, ou soit dirigé de l'acide hydrochlorique vers l'eau pure par une température de + 22 degrés C., il faut que cet acide soit réduit à la densité très-faible de 1,003. Or, d'après les expériences qui viennent d'être exposées, par une température semblable de + 22 degrés C., une solution de soude bien peu différente de l'eau pure, puisque sa densité n'est que de 1,00001, étant séparée par une vessie de l'acide hydrochlorique pourvu de la densité 1,069, qui est 23 fois plus forte que la densité 1,003, le courant d'endosmose est dirigé de l'acide vers la solution alcaline, en sorte que l'addition à l'eau d'un cent millième environ de son poids d'alcali a augmenté ici 23 fois le pouvoir que possède l'eau pure d'attirer vers elle le courant d'endosmose; courant qui, sans cette addition, serait dirigé de l'eau pure vers l'acide hydrochlorique.

Tels sont les nouveaux phénomènes physiques que l'observation et l'expérience m'ont fait connaître. J'ai rapporté les faits, il s'agit actuellement de remon-

ter à leur cause et d'établir leur théorie.

La première idée qui se présenta à mon esprit pour expliquer le phénomène de l'endosmose fut que ce phénomène était dû à l'électricité, et je pensais que cette électricité pouvait être produite par la différence de densité des deux liquides que séparait imparfaitement la cloison perméable de l'endosmomètre. Une expérience curieuse et très-connue de M. Porret [1] me semblait devoir donner du poids à cette opinion.

Ce physicien ayant divisé un vase par un morceau de vessie en deux compartiments, dont l'un était rempli d'eau, tandis que l'autre en contenait fort peu, mit le premier en rapport avec le pôle positif de la pile voltaïque, et le second en rapport avec le pôle négatif. A l'instant l'eau, qui auparavant ne filtrait point au travers de la vessie, passa assez rapidement au travers de cette membrane, et, après que l'eau se fut mise de niveau dans les deux compartiments, elle s'éleva un peu plus haut dans le compartiment primitivement vide. Ainsi, l'impulsion électrique paraît avoir, dans cette expérience, le pouvoir d'élever l'eau au-dessus de son niveau. Je cherchai à répéter cette expérience en lui donnant la forme de mes expériences d'endosmose. Je pris un tube de verre auquel je fixai un cœcum de poulet rempli d'eau, et je plongeai ce cœcum dans un vase également rempli d'eau. J'introduisis le fil conjonctif négatif de la pile dans le tube par son extrémité supérieure, et je l'enfonçai jusque dans le cœcum, où je le mis en contact avec l'eau qu'il contenait. En même temps je mis l'eau du vase en rapport avec le fil conjonctif positif. Bientôt je vis l'eau du cœcum monter dans le tube, et, parvenue à son orifice supérieur, elle s'écoula au dehors. Je fis l'expérience inverse. Je mis le pôle positif en rapport avec l'eau de l'intérieur du cœcum, et le pôle négatif en rapport avec l'eau du vase. Le cœcum se vida par filtration en grande partie. Ainsi, il m'était démontré que l'électricité voltaïque produit dans ces expériences des résultats entièrement semblables à ceux que l'on obtient par le moyen de la différence de densité de deux liquides dans les expériences d'endosmose. Cette analogie, qui me parut frappante, me conduisit à admettre qu'une manière d'être particulière et inconnue de l'électricité, était la cause de l'endosmose produite par l'hétérogénéité des liquides. Ce fut en vain cependant que je tentai de trouver des signes de cette électricité avec les galvanomètres les plus sensibles.

Avant que j'eusse découvert le phénomène de l'endosmose, un physicien allemand, M. Fischer, de Breslaw, s'était trouvé fort près de cette découverte qui lui a échappé. Voici comment il rend compte de son expérience, publiée en 1822 dans le 72e tome des *Annales de Chimie* de Gilbert.

« J'avais placé un jour dans une dissolution de cuivre un tube de verre rempli d'eau distillée et fermé par en bas avec une vessie, de telle manière que la surface de la dissolution était d'un pouce plus élevée que l'eau dans le tube : et afin de pouvoir remarquer promptement l'introduction du sel de cuivre de l'extérieur à travers la vessie, j'avais plongé un fil de fer dans l'eau. Je fus étonné de voir que le liquide s'était élevé dans le tube, et à une hauteur telle que le niveau n'était pas seulement devenu le même que celui du liquide extérieur, mais qu'au bout de quelques semaines il s'était élevé jusqu'à l'ouverture supérieure du tube, c'est-à-dire plus de 4 pouces au-dessus du niveau de la dissolution. Par suite, le cuivre avait été réduit par le fer. »

D'après l'exposé de cette expérience, il est évident qu'un résultat contraire à celui qui est annoncé par M. Fischer devait avoir eu lieu d'abord. L'eau pure contenue dans le tube et séparée de la dissolution de cuivre par un morceau de vessie, devait avoir descendu, par endosmose, vers cette dissolution, et l'eau

[1] *Annales de Physique et de chimie*, t. II, p. 137.

devait avoir baissé dans le tube. Ce premier résultat qu'indique la théorie et que m'a confirmé l'expérience, a échappé à l'attention de M. Fischer. Pour faire cette expérience avec plus de méthode et en rendre les résultats plus sensibles et plus prompts, je me suis servi d'un endosmomètre fermé par un morceau de vessie. J'ai mis dans le réservoir de cet endosmomètre un fil de fer plusieurs fois replié sur lui-même, et j'ai ensuite rempli ce réservoir d'eau distillée, qui s'élevait à une certaine hauteur dans le tube de l'instrument. J'ai plongé ensuite ce réservoir dans une solution d'une partie de sulfate de cuivre dans huit parties d'eau. Pendant deux jours l'eau contenue dans le réservoir descendit par endosmose dans la dissolution de cuivre, et celle-ci passa par exosmose dans l'eau du réservoir, en sorte que l'eau s'abaissa dans le tube de l'endosmomètre jusqu'au-dessous du niveau de la solution de sulfate de cuivre. Cependant la partie de cette solution qui était introduite par exosmose dans le réservoir de l'endosmomètre où se trouvait le fil de fer, fut décomposée par ce métal, et il se forma ainsi dans le réservoir une solution de sulfate de fer. Au bout de deux jours, l'eau du réservoir se trouva ainsi très-chargée de sulfate de fer, tandis que la dissolution de sulfate de cuivre qui était en dehors se trouva très-affaiblie. Alors les deux courants d'endosmose et d'exosmose changèrent de direction : la dissolution de cuivre très-affaiblie passa par endosmose dans la dissolution plus forte de sulfate de fer que contenait le réservoir. Alors cette dernière dissolution remonta dans le tube de l'endosmomètre et s'éleva très-haut au-dessus du niveau de la dissolution de cuivre qui était en dehors. Cette curieuse expérience, dont la moitié des résultats a échappé à M. Fischer, l'eût probablement conduit à la découverte des phénomènes généraux de l'endosmose, s'il l'eût suivie avec plus d'attention ; mais il n'a vu que la moitié du phénomène ; et sans suivre plus loin l'indication qui lui était donnée, il s'est contenté d'annoncer le fait isolé et incomplet qu'il avait obtenu, sans chercher à remonter à sa cause. On sent combien il y a loin de là à la découverte d'un nouvel ordre de faits.

Lorsque je communiquai mes premières expériences sur l'endosmose à l'Académie des Sciences, dans sa séance du 30 octobre 1826, un membre célèbre de cette Académie, M. Poisson, émit l'idée que les phénomènes que j'avais obtenus pouvaient être rapportés à l'attraction capillaire, jointe à l'affinité des deux liquides hétérogènes. Je vais ici retracer sommairement la théorie qu'il publia peu de temps après.

Deux liquides A et B (planche 1, fig. 4) occupent les deux compartiments d'un vase et sont séparés l'un de l'autre par une cloison poreuse C. Le canal *a b* est un des pores de cette cloison. « Les deux liquides A, B « sont de densités différentes, et leurs hau« teurs étant en raison inverse de leurs den« sités, la pression qu'ils exercent sur les « orifices *a* et *b* est égale. La force ca« pillaire étant inégale des deux côtés ou « aux deux bouts du canal, l'air qu'il con« tient est chassé du côté opposé à celui où « se trouve la force prépondérante, et le li« quide soumis à la plus forte action capil« laire remplira le canal entier. Supposons « que ce soit A, le filet *ab* est sollicité par « deux forces : 1° l'attraction de A, qui est « celle de A sur lui-même ; 2° l'attraction « de B, qui est supérieure à celle de A « sur lui-même. Ainsi le filet *ab* s'écoulera « de *a* vers *b* sans discontinuité, c'est-à« dire dans le sens où il est sollicité par « la plus grande attraction. Il résultera « de cet écoulement une élévation du ni« veau du liquide B, et cette élévation « continuera jusqu'à ce que la différence « des pressions en *a* et en *b* soit égale à « celle des attractions exercées par ces « deux liquides sur le filet *ab* [1] ». Le

[1] Note sur des effets qui peuvent être produits par la capillarité et l'affinité des substances hétérogènes, par M. Poisson, dans les *Annales de Physique et de chimie*, t. XXXV, p. 98.

célèbre mathématicien auquel est due cette théorie l'a revêtue depuis des formes analytiques, dans sa NOUVELLE THÉORIE DE L'ACTION CAPILLAIRE (1831).

Il résulte de cette théorie qu'il ne doit exister qu'un seul courant au travers de la cloison qui sépare les deux liquides hétérogènes, et que ce courant unique doit être dirigé vers celui des deux liquides qui est doué de la plus grande force d'attraction. Or, l'observation prouve qu'il existe au travers de la cloison deux courants opposés et inégaux en force. Ce fait, à lui seul, semble devoir infirmer la théorie de M. Poisson.

A peu près dans le même temps, le docteur G. Magnus publia dans les *Annales de Puggendorf*, ses expériences sur les *phénomènes de capillarité dans les liquides*. Et il y expliqua mes phénomènes d'endosmose à peu près de la même manière que M. Poisson l'avait fait. *On a*, dit-il, *une explication complète du phénomène, en regardant la vessie comme un corps poreux, et en admettant : 1° qu'il existe une certaine force d'attraction entre les molécules des liquides différents; et 2° que les liquides différents passent plus ou moins facilement à travers la même ouverture capillaire.* Il ajoute plus loin : *Les molécules d'une dissolution d'un sel quelconque, auront entre elles plus de cohésion que celles de l'eau. C'est pour cela que la dissolution sera moins fluide, et passera plus difficilement que l'eau par les ouvertures très étroites, toutes choses étant égales d'ailleurs. Il en résulte que plus une dissolution est concentrée, plus elle aura de difficulté à pénétrer par des ouvertures capillaires* [1].

Il résulte de cette théorie, qu'en général l'eau qui tient une substance en dissolution étant moins fluide que l'eau pure, le courant d'endosmose sera dirigé de l'eau vers la dissolution, en passant au travers des canaux capillaires de la cloison séparatrice. Or l'observation prouve que cela n'a pas toujours lieu. J'ai fait voir, en effet, plus haut, que les solutions acides, toujours plus denses que l'eau pure, étant séparées de cette dernière par un morceau de vessie, offrent le courant d'endosmose, dirigé tantôt de l'eau vers la solution acide, tantôt de la solution acide vers l'eau, et cela selon le degré de la densité de cette solution acide, et selon le degré de la température. La théorie commune à M. Poisson et au docteur Magnus, se trouve donc encore infirmée par ce fait, et elle l'est encore plus, peut-être, par l'observation rapportée plus haut, que les cloisons siliceuses sont complétement incapables de donner lieu à l'endosmose, quoiqu'elles possèdent la porosité ou la capillarité intermoléculaire la plus convenable pour que ce phénomène soit produit. Ce fait qui doit être de la plus grande importance pour l'établissement de la véritable théorie de l'endosmose, et que j'ai constaté avec tout le soin possible, prouve d'une manière irréfragable que ce n'est point l'action capillaire qui agit dans la production de l'endosmose; car cette action capillaire existe dans la cloison poreuse siliceuse, comme dans toute autre cloison séparatrice de deux liquides hétérogènes et susceptibles de donner lieu à l'endosmose. Ce même fait prouve encore que ce n'est point l'attraction réciproque des deux liquides hétérogènes qui à elle seule produit le phénomène de l'endosmose, car cette attraction réciproque des deux liquides existe à travers les canaux capillaires de la cloison siliceuse qui les sépare, et cependant l'endosmose n'a pas lieu. Ainsi par ce fait décisif, la théorie de MM. Poisson et Magnus se trouve complétement infirmée.

Une théorie de l'endosmose remarquable par sa simplicité, et qui se rapproche de la théorie précédente, a été admise par les physiciens les plus distingués. Elle consiste à regarder la différence de *viscosité* des deux liquides que sépare la cloison poreuse de l'endosmomètre, comme la cause unique de la différence de leur perméation au travers de cette cloison. Le liquide le moins *visqueux*,

---

[1] *Annales de Physique et de chimie*, t. 11, p. 176.

filtrant avec plus de facilité que le liquide opposé, dont la *viscosité* est plus grande, augmente sans cesse le volume de ce dernier. Dans cette théorie, on considère certains liquides très-peu denses, tels que l'alcool et l'éther, comme des liquides qui seraient très-*visqueux*, et voilà pourquoi ces liquides étant séparés de l'eau par une membrane, ils filtrent au travers de cette membrane avec moins d'abondance que l'eau, en sorte que le courant d'endosmose est dirigé de l'eau vers l'alcool, ou vers l'éther. Cette théorie mérite un sérieux examen.

En dissolvant un même poids de gomme arabique et de sucre dans un même poids d'eau, on a deux solutions dont la viscosité n'est pas la même; l'eau gommée est sensiblement plus visqueuse que l'eau sucrée. Or, si l'on sépare ces deux liquides par un morceau de vessie, le courant d'endosmose sera dirigé de l'eau gommée vers l'eau sucrée, c'est-à-dire que ce sera le liquide le plus visqueux, ou l'eau gommée, qui traversera la membrane avec le plus de facilité, ou en plus grande quantité; bien plus, le même phénomène aura lieu en mettant dans le même poids d'eau une quantité de gomme double de celle du sucre. Ainsi, j'ai expérimenté qu'une solution de deux parties de gomme arabique dans trente-deux parties d'eau (densité 1,023), et une solution d'une partie de sucre dans le même poids d'eau (densité 1,014), étant séparées par un morceau de vessie, le courant d'endosmose est encore dirigé de l'eau gommée vers l'eau sucrée. Ces faits prouvent bien évidemment que le courant d'endosmose n'est point toujours dirigé du liquide le moins visqueux vers le liquide le plus visqueux. Ce n'est donc pas l'inégalité de la *viscosité* de ces deux liquides qui est ici la cause de l'inégalité de leur perméation au travers de la cloison poreuse qui les sépare. Afin d'établir ces faits d'une manière irréfragable, j'ai dû mesurer exactement la viscosité comparative de l'eau gommée et de l'eau sucrée qui ont servi aux expériences dont je viens de parler. Cette mesure comparative de la viscosité des liquides s'opère en observant le temps que chacun d'eux, à volume égal, met à s'écouler par un tube capillaire de verre et par une température semblable. J'ai donc soumis à cette épreuve comparative : 1° l'eau pure ; 2° la solution d'une partie de sucre dans 32 parties d'eau ; 3° la solution d'une partie de gomme arabique dans 32 parties d'eau ; 4° enfin la solution de deux parties de gomme arabique dans 32 parties d'eau. Par une température de 7 degrés centésimaux, quinze centilitres d'eau pure s'écoulèrent par un canal capillaire de verre en 157 secondes; quinze centilitres de la solution d'une partie de sucre dans 32 parties d'eau, s'écoulèrent en 159 secondes 1/2; quinze centilitres de la solution d'une partie de gomme dans 32 parties d'eau, s'écoulèrent en 262 secondes 1/2 ; enfin, quinze centilitres de la solution de deux parties de gomme dans 32 parties d'eau, s'écoulèrent en 326 secondes.

On voit, par ces expériences, que la viscosité de l'eau sucrée qui contient une partie de sucre sur 32 parties d'eau (densité 1,014), est très-peu supérieure à la viscosité de l'eau pure ; que la viscosité de l'eau gommée qui contient une partie de gomme sur 32 parties d'eau, est bien supérieure à la viscosité de l'eau sucrée ci-dessus; on voit enfin que l'eau gommée qui contient deux parties de gomme sur 32 parties d'eau (densité 1,023), possède une viscosité deux fois plus forte que celle de l'eau sucrée qui contient une partie de sucre sur 32 parties d'eau.

Il semble qu'on ne puisse rien ajouter à ces preuves, qui démontrent que l'endosmose ne dépend point de la viscosité des liquides; cependant, je rappellerai ici comme preuves confirmatives de cette vérité, les expériences par lesquelles j'ai fait voir plus haut que des liquides visqueux, de l'eau sucrée, par exemple, passent par endosmose dans l'eau au travers d'une membrane animale, lorsqu'on leur ajoute une certaine quantité d'acide. Je rappellerai, en outre, l'expérience par laquelle j'ai démontré que l'alcool qui reçoit le courant d'endosmose de l'eau dont il est séparé par une membrane animale, lui envoie au cou-

traire ce même courant d'endosmose lorsqu'il en est séparé par une cloison membraniforme de caoutchouc. La viscosité de l'alcool ne joue donc ici aucun rôle.

On voit, d'après ces expériences, qu'il faut renoncer à considérer la différence de *viscosité* des deux liquides employés dans une expérience d'endosmose, comme la cause de l'excès de la perméation de l'un de ces deux liquides au travers des conduits capillaires de la cloison qui les sépare. D'ailleurs, le fait de la non-existence de l'endosmose, lorsque les deux liquides différents de viscosité sont séparés par une cloison poreuse siliceuse, intervient encore ici surabondamment, pour prouver que ce n'est point la différence de viscosité des deux liquides qui est la cause de l'endosmose.

Dès mes premières expériences, j'avais vu que l'endosmose ne dépend point de l'inégalité de densité des deux liquides que sépare une cloison poreuse. L'alcool, en effet, quoique moins dense que l'eau, se comporte comme le fait un liquide dense dans les expériences d'endosmose faites avec des cloisons membraneuses animales et végétales. Or, les liquides aqueux denses et l'alcool possèdent une même propriété, qui est celle de s'élever moins que l'eau pure dans les tubes capillaires. Je soupçonnai, en faisant ce rapprochement, que la différence de l'ascension capillaire entre deux liquides, pouvait être la condition de l'endosmose qui avait lieu lorsqu'ils étaient séparés par une cloison à pores capillaires. Des expériences que je fis à cet égard, confirmèrent le soupçon que j'avais conçu, et me firent penser que j'avais découvert non la cause efficiente de l'endosmose, mais l'une des conditions générales de son existence. Depuis ce temps, ayant découvert les singuliers phénomènes d'endosmose dans deux sens opposés que présentent les acides, je vis que si la loi, jusqu'alors paraissant générale, que j'avais trouvée, était confirmée lorsque l'acide reçoit le courant d'endosmose de la part de l'eau, elle se trouvait contrariée lorsque c'est, au contraire, l'eau qui reçoit le courant d'endosmose de la part de l'acide; car dans ce dernier cas, le courant d'endosmose se trouve dirigé du liquide le moins ascendant dans les tubes capillaires vers le liquide dont l'ascension capillaire est plus considérable, en sorte que le phénomène est inverse. Une autre observation rapportée plus haut, semble aussi, au premier coup d'œil, contrarier la loi que j'ai établie; je veux parler de l'expérience par laquelle j'ai prouvé que l'alcool étant séparé de l'eau par une cloison membraniforme de caoutchouc, le courant d'endosmose est dirigé de l'alcool vers l'eau, au lieu d'être dirigé de l'eau vers l'alcool, ainsi que cela a lieu lorsque ces deux mêmes liquides sont séparés par une membrane animale ou végétale, ou par une cloison d'argile cuite. Ici, je dois faire observer que les degrés comparatifs de l'ascension capillaire doivent nécessairement varier avec les substances qui composent les tubes ou les conduits capillaires. L'alcool s'élève moins que l'eau dans un tube capillaire de verre, et il se comporte probablement de même dans les conduits capillaires d'une membrane animale ou végétale, ou dans ceux d'une lame d'argile cuite; mais, il en est certainement autrement, par rapport aux conduits capillaires du caoutchouc; en effet, l'alcool pénètre dans les conduits capillaires de cette substance, lesquels n'admettent point l'eau. Ici, l'ascension capillaire de l'alcool est donc supérieure à celle de l'eau, en sorte que la loi que j'ai établie, se trouverait ici confirmée bien loin d'être contrariée. Je ne trouve donc de véritablement contraire à cette loi, que le fait de la direction du courant d'endosmose de l'acide vers l'eau, en traversant une membrane animale ou une lame d'argile cuite, et cela lorsque l'acide possède un certain degré d'affaiblissement et par un certain degré de température. Toutefois, il résulte de cette exception très-remarquable, que l'on ne peut déduire une théorie générale, des expériences sur lesquelles j'avais cru pouvoir établir cette loi, laquelle ne peut plus être appliquée

qu'aux faits les plus généraux et les plus nombreux, que nous offre le phénomène de l'endosmose. Cela suffit pour conserver de l'importance à ces expériences que je vais reproduire ici. On ne doit point oublier, en effet, que si les théories sont variables, les faits sont immuables lorsqu'ils sont bien observés, et qu'ils doivent rester dans la science.

L'inégalité de l'ascension capillaire des deux liquides, que sépare une cloison à pores assez petits, pour s'opposer à la facile perméation de ces deux liquides en vertu de leur seule pesanteur, est une des conditions générales de l'existence de l'endosmose. Cette dernière dirige son courant dans le plus grand nombre des cas, du liquide le plus ascendant dans les tubes capillaires vers le liquide le moins ascendant; c'est à ce cas seulement que je vais avoir égard ici. L'inégalité de densité des liquides étant une cause d'endosmose, j'ai dû d'abord rechercher quelle était la différence d'ascension capillaire qui résulte d'une différence déterminée dans la densité des liquides; ensuite j'ai dû rechercher si la différence de l'ascension capillaire des deux liquides avait un rapport constant avec la différence de l'endosmose telle qu'elle est donnée par l'expérience.

Le degré d'ascension auquel parviennent les divers liquides dans les tubes capillaires dépend de plusieurs causes en apparence très-différentes, mais qui doivent avoir une analogie fondamentale. L'eau est de tous les liquides celui dont l'ascension capillaire est la plus considérable; les substances en solution qui augmentent sa densité diminuent son ascension capillaire, laquelle est également diminuée par l'élévation de la température. Ainsi l'eau chaude possède moins de pouvoir ascendant que l'eau froide. Les liquides combustibles, tels que l'alcool et l'éther, se comportent comme des liquides denses dans l'ascension capillaire, en sorte que la combustibilité agit ici comme la densité. La matière qui forme les canaux capillaires possède aussi son mode d'action pour modifier l'ascension capillaire des liquides. Ainsi, à température égale, l'eau ne s'élèvera point à la même hauteur dans des tubes capillaires égaux faits de matières différentes. Ces éléments nombreux qui entrent dans la détermination du degré de l'ascension capillaire des liquides, en font un phénomène extrêmement compliqué. Pour simplifier autant que possible l'étude de ce phénomène, n'employons que deux liquides, savoir, de l'eau et une solution d'hydrochlorate de soude. Nous pourrons essayer diverses densités de ce dernier liquide, et comparer leur ascension capillaire avec celle de l'eau à températures égales. Le même tube de verre servira à ces expériences comparatives. Avant d'exposer ces expériences, je dois faire une observation importante. La couche de liquide qui mouille intérieurement le canal d'un tube est un des éléments de l'ascension capillaire qu'opère ce tube. Ainsi l'eau s'élèvera à une hauteur déterminée dans un tube intérieurement mouillé avec de l'eau; mais si les parois intérieures de ce tube sont mouillées par une solution saline, ou par tout autre liquide aqueux, ou par de l'alcool, l'eau pure ne s'élèvera plus dans ce tube aussi haut que lorsqu'il n'était mouillé que par de l'eau. Ce sera vainement que l'on fera passer de l'eau à plusieurs reprises dans ce tube; elle ne détachera point la couche de liquide salin ou autre qui reste adhérente aux parois du tube et qui diminue son pouvoir d'ascension capillaire. Il faut, pour détacher cette couche de liquide, passer à plusieurs reprises un corps filiforme dans le tube rempli d'eau; ce n'est que par le frottement de ce corps que la couche de liquide demeurée adhérente aux parois du tube peut être enlevée. On sent, d'après cette observation, que lorsque l'on fait des expériences sur l'ascension capillaire avec divers liquides et avec un même tube, il est nécessaire de nettoyer ce tube avec soin avant chaque expérience; sans cela on aurait des résultats fautifs. Il faut prendre garde en même temps d'échauffer le tube en le tenant entre ses doigts, car ce tube, augmenté de température, n'exercerait plus une aussi forte at-

traction capillaire. Passons actuellement à l'exposition des expériences.

J'ai préparé une solution d'hydrochlorate de soude dont la densité était 1,12, la densité de l'eau étant 1. J'ai pris une partie de cette solution à laquelle j'ai ajouté un égal volume d'eau, ce qui lui a donné une densité de 1,06. J'avais ainsi deux solutions salines dont les excès de densité sur la densité de l'eau étaient 0,12 et 0,06. Ces excès étaient ainsi entre eux dans le rapport de 2 à 1. D'après mes expériences antérieures, ces deux excès devaient mesurer l'endosmose produite par chacun des deux liquides salés mis successivement dans le même endosmomètre plongé dans l'eau pure. Effectivement, ayant soumis de cette manière les deux solutions salines à l'expérience, j'obtins avec la solution saline la plus dense une endosmose exactement double de celle qui fut produite par la solution saline la moins dense. Je recherchai alors quel était le rapport existant entre la densité connue de ces deux solutions salines et de l'eau, et l'ascension capillaire de ces trois liquides. Je pris un tube de verre dont l'action capillaire élevait l'eau à la hauteur de 12 lignes par une température de + 10 degrés R. Je trouvai que ce même tube, par la même température, élevait à 6 lignes 1/4 la solution d'hydrochlorate de soude dont la densité était 1,12, et qu'il élevait à 9 lignes 1/8 la solution du même sel dont la densité était 1,06.

1° L'ascension capillaire de l'eau étant	12
L'ascension capillaire de la solution saline la plus dense étant.	6 1/4
L'excès de l'ascension capillaire de l'eau est	5 3/4
2° L'ascension capillaire de l'eau étant	12
L'ascension capillaire de la solution saline la moins dense étant.	9 1/8
L'excès de l'ascension capillaire de l'eau est	2 7/8

Ainsi les deux excès de l'ascension capillaire de l'eau sur l'ascension capillaire de chacune des deux solutions salines, sont 5 3/4 et 2 7/8, ou 46/8 et 23/8, nombres qui sont dans le rapport de 2 à 1, comme le sont les deux excès 0,12 et 0,06 de la densité des deux solutions salines sur la densité de l'eau. Voilà donc deux solutions salines qui, mises séparément en rapport avec l'eau pure, produisent des endosmoses qui sont dans le rapport de 2 à 1. Rapporterons-nous ce fait à ce que les excès de la densité de chacune de ces solutions salines sur la densité de l'eau sont dans le rapport de 2 à 1, ou à ce que les excès de l'ascension capillaire de chacune de ces solutions salines sur l'ascension capillaire de l'eau, sont dans le rapport de 2 à 1; en d'autres termes, est-ce la densité respective des deux liquides qui règle ou régit leur endosmose, ou bien est-ce l'ascension capillaire respective des deux liquides? L'expérience suivante va résoudre cette question. Nous avons vu plus haut qu'à densités égales, une solution de sulfate de soude et une solution d'hydrochlorate de soude produisent, étant mises en rapport avec l'eau pure, des endosmoses qui sont dans le rapport exact de 2 à 1. Ici la différence de densité n'intervient point pour régler l'endosmose; il faut voir si elle se trouve réglée par l'ascension capillaire. J'ai préparé une solution de sulfate de soude et une solution d'hydrochlorate de soude ayant la même densité 1,085, et j'ai éprouvé leur ascension capillaire dans le même tube que nous avons vu précédemment élever l'eau pure à 12 lignes par une température de + 10 degrés R. J'ai trouvé que, dans ce même tube et par la même température, l'ascension capillaire de la solution de sulfate de soude était de 8 lignes, et que celle de la solution d'hydrochlorate de soude était de 10 lignes. L'excès de l'ascension capillaire de l'eau sur celle de la solution de sulfate de soude est 4; l'excès de l'ascension capillaire de l'eau sur celle de la solution d'hydrochlorate de soude est 2. Ces deux excès sont dans le rapport de 2 à 1, rapport qui mesure également l'endosmose produite avec le concours de l'eau par chacune de ses deux solutions salines de densité égale.

Il résulte de ces expériences que, dans certains cas, il existe un rapport entre le degré de l'ascension capillaire des liquides et l'endosmose qu'ils sont aptes à produire quand on les sépare de l'eau par une membrane animale. Quelle est la nature de ce rapport? C'est ce que je ne puis déterminer. La cause efficiente de l'endosmose nous est tout à fait inconnue : en vain on a voulu l'expliquer par l'attraction réciproque des deux liquides aidée de l'action capillaire; en vain on a voulu la faire dépendre de la différence de viscosité des deux liquides, situés de chaque côté de la cloison séparatrice; les faits repoussent toutes ces explications. Il est de toute évidence que le phénomène de l'endosmose est dû, au moins en grande partie, à une action particulière qui a son siége dans la cloison séparatrice. Nous voyons, en effet, l'endosmose opérée par l'eau et l'alcool avoir lieu dans deux sens inverses, suivant qu'on sépare ces deux liquides par une membrane organique ou par une cloison mince de caoutchouc. Nous voyons en outre l'eau et un acide quelconque, séparés par une membrane animale, ou par une lame d'argile cuite, opérer l'endosmose dans deux sens inverses qui sont en rapport avec divers degrés de densité de l'acide, tandis que séparés par une membrane végétale, ces deux liquides offrent l'endosmose dans un sens qui est toujours le même. L'action particulière dont la cloison séparatrice est le siége dans la production de l'endosmose, ne peut donc plus être l'objet d'un doute; mais la nature de cette action reste à déterminer. M. Becquerel a cherché à remplir cette lacune de la science. Tout le monde connaît ses beaux travaux sur l'électricité observée dans ses effets moléculaires. C'est par une action électrique de ce genre, que ce savant physicien a cru pouvoir expliquer en partie les phénomènes de l'endosmose; admettant au reste, pour compléter cette explication, la théorie de MM. Poisson et Magnus. Je vais citer ici le texte même de M. Becquerel [1].

[1] *Traité de l'électricité et du magn.* liv. v. § xi.

« Suivant la théorie de M. Poisson, et la manière de voir de M. Berzelius et de G. Magnus, on conçoit quelles sont les causes physiques qui concourent à l'effet général (de l'endosmose). L'attraction entre les particules d'une solution saline se compose des attractions mutuelles de l'eau et du sel et de l'attraction réciproque des molécules de chacun de ces corps pris à part; quand ces attractions réunies sont plus fortes que celles des molécules de l'eau entre elles, l'eau doit passer d'autant plus facilement à travers les pores du corps poreux interposé, qu'elle tient en moins grande quantité des corps étrangers en dissolution. Dans le cas où la membrane sépare deux dissolutions dans lesquelles l'attraction entre les parties est inégale et qui exercent en outre une attraction réciproque l'une sur l'autre, et une autre sur les pores de la vessie, il en résulte que l'une d'elles est attirée avec plus de force par ces pores, et que par conséquent la quantité absorbée doit être plus considérable d'un côté que de l'autre. Le liquide situé de l'autre côté, attire aussi celui qui a pénétré la membrane et se mêle avec lui. Voilà comment on peut concevoir le double courant.

« Nous voyons par là que l'endosmose est un phénomène très-complexe et qu'il est bien difficile de prévoir *à priori* l'effet qui doit être produit dans telle ou telle circonstance.

« Nous allons examiner maintenant jusqu'à quel point l'électricité peut joindre son action à celle des diverses causes que nous venons de passer en revue.

« Dans les phénomènes qui nous occupent, nous admettons comme cause influente, indépendamment des effets de capillarité, l'action des deux liquides l'un sur l'autre, et celle de chacun d'eux sur la membrane, trois actions chimiques, qui donnent naissance chacune à des effets électriques particuliers. S'il n'existait que deux corps agissant l'un sur l'autre, il n'y aurait pas de courant électrique, puisqu'il y aurait une recomposition tumultueuse des deux électricités dégagées sur la surface même du contact. Mais ici,

ce n'est pas le cas. Il y a toujours trois corps en contact (en y comprenant la membrane ou corps intermédiaire), dont l'un sert à la circulation des deux électricités mises en liberté à l'instant de la réaction chimique des deux corps l'un sur l'autre. Il peut donc exister trois espèces de courant, dont la résultante dépend de la nature des liquides et de celle de la membrane. »

M. Becquerel entre ici dans l'exposé de certains phénomènes qui prouvent que, lorsque les corps, même non conducteurs, sont broyés très-menus, leurs parties très-divisées tendent à acquérir la faculté conductrice de l'électricité; lorsqu'elles n'en sont pas pourvues complétement, leur surface la possède à des degrés plus ou moins marqués.

« Tout porte donc à croire, ajoute-t-il, que, lorsqu'une particule acide se combine avec une particule alcaline, si l'une et l'autre est en contact avec un corpuscule très-ténu, non conducteur, la recomposition des deux électricités, dégagées pendant l'acte de la combinaison, s'effectue par son intermédiaire, de sorte que cet assemblage forme un petit appareil voltaïque.

« Porret a fait voir que lorsqu'une masse d'eau soumise à l'action de la pile est partagée en deux parties par un morceau de vessie, l'un des pôles étant en communication avec une de ses parties, et l'autre pôle avec la seconde, la plus grande portion du liquide de la cellule positive, est transportée dans la cellule négative. Cette expérience ne réussit qu'autant que l'eau employée est peu conductrice de l'électricité, car lorsqu'elle renferme un acide ou un sel, le transport de l'eau n'a plus lieu.

« D'autres expériences prouvent également que l'électricité positive, quand elle est en mouvement, possède la faculté de renverser les obstacles qui se présentent sur sa route, faculté que n'a pas l'électricité négative.

« M. Dutrochet a eu l'idée d'attribuer l'endosmose à une action de ce genre, sans se rendre compte de la nature des effets électriques qui sont produits dans les phénomènes qu'il a découverts. Essayons d'indiquer de quelle manière l'électricité peut être rangée au nombre des causes productrices de l'endosmose.

« Une solution saline concentrée dans sa réaction sur l'eau, prend l'électricité positive et donne à l'eau l'électricité contraire. L'effet ayant lieu entre les pores de la membrane ou de la cloison séparatrice, la recomposition des deux électricités s'effectue par l'intermédiaire de ses parois, quand bien même la membrane ou corps intermédiaire n'est pas conducteur de l'électricité. Il doit donc y avoir probablement autant de courants électriques partiels, qu'il y a de pores; ces courants sont tous dirigés de l'eau vers la solution saline.

« L'eau pure étant un mauvais conducteur, le courant positif fera passer facilement l'eau à travers la membrane dans le compartiment où se trouve la solution. Dans ce cas, l'action mécanique de l'électricité vient ajouter ses effets à ceux des causes déjà signalées.

« Si nous considérons l'action d'un acide sur l'eau, l'expérience nous apprend que, pendant qu'elle se manifeste, l'acide prend l'électricité positive, l'eau l'électricité négative. Par conséquent, le courant tend à faire passer l'eau du côté de l'acide; l'expérience apprend aussi que la direction du courant d'endosmose change suivant le degré de densité de l'acide et le degré de température. Dès lors les causes que nous avons signalées, c'est-à-dire l'attraction des particules de chaque liquide pour les particules du même liquide, et celle des deux liquides l'un pour l'autre, exercent une action prépondérante.

« Quant au phénomène d'endosmose qui est produit quand les acides sont séparés des alcalis par une membrane animale, nous ferons remarquer que, dans la réaction de ces deux liquides l'un sur l'autre, l'acide prend l'électricité positive, l'alcali l'électricité négative. L'action mécanique du courant tend à faire passer l'alcali vers l'acide; or le courant d'endosmose ne suit cette direction que lorsque

la densité des deux liquides est dans un certain rapport ; il en résulte que la force attractive des particules, les unes sur les autres, intervient encore ici d'une manière prépondérante dans la production du phénomène.

« Si donc l'électricité est au nombre des causes productrices de l'endosmose et de l'exosmose, elle ne doit pas être considérée comme celle qui a le plus d'influence, puisqu'il arrive souvent que les effets produits sont dans une direction inverse de ceux que l'on aurait obtenus si elle eût agi seule. On voit par là que l'endosmose et l'exosmose constituent une classe de phénomènes très-complexes dont il est bien difficile de déterminer les lois *à priori*. »

Ainsi M. Becquerel admettant les causes générales indiquées par MM. Poisson et Magnus, comme productrices des phénomènes de l'endosmose, leur adjoint l'impulsion électrique. Pour rendre plus facile à comprendre le mode d'action de l'électricité dans cette circonstance, je crois devoir en faire l'exposition à l'aide de la figure v (planche 1). Soit *ab* l'un des canaux capillaires de la cloison qui sépare une solution saline située en dessus ou en *b* de l'eau pure, située en dessous ou en *a*, le canal capillaire est ici représenté dans sa section verticale. La solution saline et l'eau se trouvant en contact dans un point quelconque *i* de l'étendue du canal capillaire, la première prend l'électricité positive et la seconde prend l'électricité négative. Comme les particules de la cloison *c* sont conductrices de l'électricité, quand bien même cette cloison considérée dans sa masse ne le serait pas, il en résulte que ces particules de la cloison *c* transmettent le courant circulaire de l'électricité voltaïque développée par le contact de la solution saline et de l'eau ; ces particules de la cloison remplissent ici l'office que remplit le fil conjonctif des deux pôles dans la pile de Volta. Ce courant circulaire de l'électricité est descendant en traversant l'épaisseur de la cloison en *c*, il est ascendant en traversant le liquide contenu dans le canal capillaire, et c'est ce mouvement ascensionnel d'un nombre considérable de courants circulaires semblables, situés sur tous les points des parois du canal capillaire, qui imprime un mouvement ascensionnel à l'eau et la pousse dans la solution saline, placée au-dessus de la cloison. Ainsi, dans cette circonstance, l'action de l'électricité serait congénère de l'action des causes auxquelles la théorie de MM. Poisson et Magnus attribue le transport par endosmose de l'eau vers la solution saline. Remarquons que le courant de l'électricité est toujours dirigé du liquide qui prend l'électricité négative vers le liquide qui prend l'électricité positive. Or si l'on met une solution alcaline en dessus, ou en *b*, en remplacement de la solution saline, et que l'on conserve toujours de l'eau en dessous, ou en *a*, la solution alcaline et l'eau, en se rencontrant dans le canal capillaire, prendront la première l'électricité négative, et la seconde l'électricité positive. Le courant électrique tendra donc alors à pousser la solution alcaline vers l'eau, ce qui est la direction opposée à celle du courant d'endosmose qui a lieu constamment, dans cette circonstance, de l'eau vers la solution alcaline. M. Becquerel admet qu'alors le courant d'endosmose n'est produit que par la seule action des causes admises par la théorie de MM. Poisson et Magnus. La force des courants électriques serait vaincue alors par l'action prépondérante de ces causes. Ainsi ces dernières causes et l'électricité seraient tantôt congénères, et tantôt antagonistes : dans le premier cas, elles coopéreraient à la production du courant d'endosmose ; dans le second cas, suivant la prépondérance de l'une quelconque de ces forces antagonistes, le courant d'endosmose serait dirigé tantôt dans un sens, tantôt dans le sens opposé. Ce serait ainsi que l'on expliquerait, mais d'une manière vague et indécise, le fait de la direction du courant d'endosmose, tantôt de l'eau vers l'acide, tantôt de l'acide vers l'eau, lorsque ces deux substances sont séparées par un morceau de vessie. Ainsi resterait indécise l'explication de la plupart des phénomènes particuliers

d'endosmose, parce que la théorie les considère comme étant dus à la combinaison de causes trop compliquées pour que le raisonnement puisse les prévoir et pour que l'expérience puisse les démêler.

Il y a deux choses à considérer dans la théorie de l'endosmose proposée par M. Becquerel. 1° Il admet la théorie de MM. Poisson et Magnus; 2° il ajoute à cette théorie l'action de l'électricité. J'ai fait voir plus haut que la théorie de MM. Poisson et Magnus ne peut concorder avec plusieurs des phénomènes que présente l'endosmose; or l'addition à cette théorie de l'action électrique, telle qu'elle vient d'être exposée, ne la ferait pas concorder davantage avec certains faits qui la contrarient. Ainsi l'observation prouve qu'il n'y a point d'endosmose lorsque deux liquides hétérogènes, l'eau et une solution saline, par exemple, sont séparés par une cloison siliceuse à pores capillaires. Or, les courants électriques mentionnés plus haut devraient avoir lieu ici comme ils sont censés avoir lieu lorsque ces mêmes liquides sont séparés par une cloison animale, végétale ou argileuse, puisque ces courants peuvent avoir lieu, même lorsque la substance de la cloison n'est pas conductrice de l'électricité, ce qui est le cas où la cloison séparatrice est siliceuse. Ainsi ce fait contrarie à la fois la théorie de MM. Poisson et Magnus, et l'addition que M. Becquerel a faite à cette théorie. Toutefois je dois faire observer qu'en expliquant la manière dont le courant électrique peut être produit dans une expérience d'endosmose, M. Becquerel s'est borné à considérer l'action d'affinité des deux liquides l'un sur l'autre; il n'a point tenu compte de l'affinité de l'un des liquides, ou des deux liquides à la fois sur la substance de la cloison séparatrice, action d'affinité qu'il reconnaît cependant, et qui est prouvée par mes expériences. Ainsi la génération du courant électrique, telle qu'elle est expliquée plus haut à l'aide de la figure 5, n'est donnée par M. Becquerel, que comme un exemple de la manière dont ce courant électrique peut être produit; il ne prétend point qu'il ne puisse être produit que de cette manière. En effet, la science de l'électricité est-elle assez avancée pour qu'on puisse déterminer quelle sera la résultante de deux ou de trois actions d'électricité moléculaire qui seront simultanées? La théorie reste donc nécessairement ici dans le vague; toutefois, en faisant voir que l'électricité développée par les actions d'affinité, qui existent entre les deux liquides que sépare une cloison poreuse, et entre ces mêmes liquides et la substance de cette cloison, en faisant voir, dis-je, que cette électricité peut être la cause de la progression par endosmose de l'un de ces liquides au travers des pores capillaires de la cloison séparatrice, M. Becquerel a jeté une vive lumière sur la cause de l'endosmose, cause demeurée jusqu'à ce jour si obscure, malgré les efforts qu'ont faits les savants les plus recommandables pour la mettre en lumière : les faits dont l'exposition va suivre, prouveront, je le pense, que c'est aux seules idées de M. Becquerel, qu'il faut ici s'arrêter, en rejetant tout ce qui avait été fait antérieurement pour expliquer l'endosmose.

On sait que lorsqu'on met de l'eau-de-vie ou de l'alcool affaibli par l'eau, dans une vessie bien fermée et exposée à l'air libre, l'eau passe au travers des pores de la vessie en plus grande quantité que l'alcool, et s'évapore; en sorte qu'après un certain temps écoulé, l'alcool qui est dans la vessie se trouve beaucoup plus concentré qu'il ne l'était dans le principe. L'inverse a lieu lorsqu'on met l'eau-de-vie dans une bouteille de caoutchouc, de même bien fermée et exposée à l'air libre; l'alcool passe au travers des pores de cette bouteille de caoutchouc et s'évapore, tandis que l'eau qui ne peut traverser cette substance demeure dans la bouteille; en sorte qu'après un certain temps écoulé, la bouteille de caoutchouc ne contient presque plus que de l'eau ou de l'alcool extrêmement affaibli.

Ainsi les canaux capillaires de la vessie reçoivent et transmettent l'eau à l'exclusion plus ou moins complète de l'alcool, tandis que les canaux capillaires du caout-

chouc reçoivent et transmettent l'alcool à l'exclusion plus ou moins complète de l'eau. Cette admission spéciale d'un seul des deux liquides dans les canaux capillaires de la vessie ou du caoutchouc, provient évidemment de l'affinité spéciale que chaque liquide a pour la substance qu'il traverse. L'eau a une affinité très-grande pour les substances animales et en général pour les substances organiques qui doivent à cette affinité leur propriété hygrométrique; le caoutchouc est une sorte d'émulsion végétale desséchée, il contient par conséquent ou une huile solidifiée ou une substance résineuse combinée à d'autres principes végétaux. Or on connaît l'affinité de l'alcool pour les substances huileuses et résineuses; aussi le caoutchouc se ramollit-il dans l'alcool s'il ne s'y dissout pas, et cela suffit pour prouver que ces deux substances ont de l'affinité. C'est donc en vertu de leur affinité spéciale et élective, que l'eau traverse la vessie à l'exclusion de l'alcool, et que l'alcool traverse le caoutchouc à l'exclusion de l'eau; or, j'ai fait voir que l'alcool étant séparé de l'eau par un morceau de vessie, l'eau est portée par endosmose vers l'alcool, et que ces deux liquides étant séparés par une cloison membraniforme de caoutchouc, l'alcool est porté par endosmose vers l'eau; c'est donc ici une répétition des phénomènes mentionnés plus haut. C'est celui des deux liquides qui a le plus d'affinité pour la substance solide avec laquelle ils sont l'un et l'autre en contact, qui la traverse avec le plus de facilité et d'abondance; par conséquent, c'est au liquide pourvu d'une affinité élective pour la substance de la cloison qui le sépare du liquide opposé, qu'il appartient d'opérer le courant d'endosmose. Ce fait important peut conduire à l'explication de tous les phénomènes d'endosmose qui se présentent à l'observation. Lorsque l'eau pure est séparée d'une solution de substance organique ou d'une solution saline, par une membrane organique, c'est l'eau qui opère le courant d'endosmose, parce que c'est généralement elle qui a le plus d'affinité pour la substance organique de la membrane; lorsqu'une solution de gomme, plus dense et plus visqueuse, dans certaines proportions, qu'une solution de sucre, est séparée de cette dernière par un morceau de vessie, c'est l'eau gommée qui, contre toute prévision, opère le courant d'endosmose, et cela probablement parce que son affinité pour la substance organique de la membrane est supérieure à l'affinité que possède l'eau pure pour cette même substance.

Lorsqu'une solution acide, pourvue d'une densité déterminée dans son élévation, est séparée de l'eau par un morceau de vessie, c'est l'eau qui opère le courant d'endosmose; lorsque, les circonstances étant les mêmes, la solution acide est pourvue d'une densité déterminée dans son abaissement au-dessous de celle de la solution acide précédente, c'est la solution acide qui opère le courant d'endosmose. On peut penser que, dans le premier cas, l'eau a plus d'affinité pour la substance organique de la vessie que n'en a la solution acide de densité élevée, et que, dans le second cas, c'est, au contraire, la solution acide affaiblie de densité qui a plus d'affinité que l'eau pour la substance organique de la membrane séparatrice. Lorsqu'une même solution acide, séparée de l'eau par un morceau de vessie, offre le courant d'endosmose tantôt dirigé de l'eau vers l'acide, lorsque la température est élevée, tantôt dirigé de l'acide vers l'eau, lorsque la température est abaissée, cela paraît provenir de ce que l'affinité changeant, comme on le sait, avec le degré de la température, il se trouve qu'à des températures différentes la solution acide a tantôt moins, tantôt plus d'affinité que l'eau pour la substance organique de la cloison animale séparatrice, en sorte que, dans le premier cas, c'est l'eau qui opère le courant d'endosmose, et que, dans le second cas, c'est l'acide qui opère ce même courant. Comme l'eau et les solutions aqueuses sont généralement les liquides avec lesquels on fait les expériences d'endosmose, il en résulte que l'affinité des substances solides

pour l'eau est l'une des conditions indispensables pour que ces solides, lorsqu'ils sont poreux, soient aptes à produire l'endosmose. Les solides organiques présentent au plus haut degré cette affinité pour l'eau, aussi sont-ils éminemment aptes à produire l'endosmose. Parmi les solides minéraux, l'argile ou plutôt l'alumine qui en fait la base est remarquable par l'énergie de son affinité pour l'eau qu'elle retient à l'état de combinaison avec une telle force qu'elle ne peut en être que très-difficilement privée par le feu le plus violent et le plus continué ; aussi l'argile cuite est-elle éminemment apte à produire l'endosmose. Les solides siliceux n'ont aucune affinité pour l'eau. Aussi ceux de ces solides qui sont poreux sont-ils totalement incapables de produire l'endosmose. Les solides poreux composés de chaux carbonatée ne paraissent point avoir d'affinité pour l'eau. Aussi ces solides poreux ne produisent-ils point d'endosmose la plupart du temps, et si quelquefois ils offrent des signes à peine sensibles d'endosmose, cela peut provenir de la petite quantité d'alumine qui existe toujours dans la chaux carbonatée minérale.

Il résulte de ces observations que les conditions générales de l'endosmose sont les suivantes : 1° il faut qu'un des deux liquides au moins ait de l'affinité pour la substance de la cloison séparatrice ; 2° il faut que les deux liquides aient de l'affinité l'un pour l'autre. S'il n'existe qu'une seule de ces deux conditions, il n'y a point d'endosmose. Le courant d'endosmose n'appartient ni au liquide le moins dense, ni au liquide le moins visqueux, ni au liquide le plus ascendant dans les tubes capillaires ; il appartient toujours au liquide qui a le plus d'affinité pour la substance de la cloison séparatrice. Ce n'est point l'*attraction* des canaux capillaires pour les deux liquides ; ce n'est point l'*attraction* des deux liquides l'un pour l'autre, qui agit dans l'endosmose ; je veux dire l'*attraction* dont on connaît les lois mathématiques et dont on peut calculer et prévoir ainsi les effets ; c'est l'*affinité* dont les lois mathématiques sont inconnues. L'affinité en exercice produit toujours des courants électriques ; ces courants existent donc dans l'exercice des *affinités* auxquelles l'endosmose est due, ainsi que l'a établi M. Becquerel ; puisque ces courants existent, ils ont une action sur le mouvement des liquides soumis à l'expérience. Il ne paraît donc plus douteux que l'endosmose ne soit due à l'électricité, développée par la double ou triple affinité d'un liquide ou des deux liquides pour la substance de la cloison séparatrice, et des deux liquides l'un pour l'autre. On sent facilement combien il est difficile d'établir la théorie de ces actions électriques compliquées. L'action capillaire, étrangère par elle-même à la production de l'endosmose, n'intervient dans ce phénomème, que pour mettre, à la perméation des deux liquides au travers de la cloison séparatrice, un obstacle suffisant pour les empêcher de couler l'un vers l'autre par le seul effet de leur pesanteur. S'il est d'observation que souvent la propriété d'ascension capillaire des liquides soit en rapport avec leur propriété d'opérer l'endosmose, on doit regarder ce fait comme *accompagnant* et non comme *causant* le phénomène de l'endosmose.

Il n'est point douteux que ce ne soit par les mêmes canaux capillaires de la cloison séparatrice et à l'état de mixtion, que les deux liquides opposés traversent en sens inverse cette cloison, pour produire les deux courants opposés et inégaux d'endosmose et d'exosmose. Si cette perméation des deux liquides s'opérait par des canaux capillaires différents, il faudrait admettre d'abord la parfaite égalité de tous ces canaux ; ensuite, leur affectation à chacun des deux liquides en nombres égaux, en sorte que l'inégalité des deux courants opposés dépendrait de l'inégalité de la vitesse de la marche de ces deux liquides dans des canaux capillaires séparés, égaux en nombre et en diamètre. Or, une pareille hypothèse répugne à la raison. D'ailleurs, il est un fait qui prouve directement, que c'est à l'état de mixtion dans les canaux capillaires de la cloison

séparatrice, que s'opèrent les deux mouvements en sens inverse, au moyen desquels les deux liquides marchent avec inégalité de vitesse l'un vers l'autre; ce fait est celui de l'endosmose opérée par l'eau et l'alcool, lorsque ces deux liquides sont séparés par une cloison de caoutchouc. Cette substance est en effet imperméable à l'eau, et cependant cette dernière la traverse par exosmose dans l'expérience dont il s'agit, tandis que l'alcool la traverse par endosmose. Ce ne peut donc être qu'à l'état de mixtion, que ces deux liquides traversent en sens inverse la cloison qui les sépare, cloison dont les canaux capillaires admettent l'alcool et refusent tout accès à l'eau lorsqu'elle se présente seule.

J'ai prouvé plus haut, que l'augmentation de la température augmente la quantité de l'endosmose dans un temps donné. La cause de ce phénomène me semble pouvoir se trouver dans les observations suivantes : l'élévation de la température développe dans les conduits capillaires une force inconnue qui met obstacle, non-seulement à l'ascension capillaire, mais à toute perméation des liquides dans les canaux capillaires, et j'ai vu que l'obstacle opposé par cette force inconnue à la perméation des liquides, est d'autant plus fort que ces liquides sont plus denses. Ainsi l'eau, à une température basse de même qu'à celle de l'ébullition, parcourt assez librement un canal de verre, dont l'action capillaire élèvera à 1 pouce l'eau à +15 degrés C. de température. De l'eau fortement chargée d'hydrochlorate de soude parcourra librement ce même canal tant que sa température ne sera pas très-élevée, mais à la température de 80 degrés C. la perméation capillaire rencontrera dans le canal un obstacle très-remarquable. Le liquide salé, sollicité à monter ou à descendre par l'immersion ou par l'émersion du tube, n'obéira que par saccades à l'attraction capillaire ou à la pesanteur. On pourra faire subir à ce tube des immersions et des émersions consécutives d'une certaine étendue, sans que la surface supérieure du liquide que contient le tube, quitte la partie de ce tube à laquelle elle est fixée, en sorte que l'ascension capillaire n'a plus une limite fixe et déterminée. Il y a évidemment un obstacle intérieur à la perméation du liquide, soit pour monter, soit pour descendre. Au reste, le fait de cet obstacle qu'oppose la chaleur élevée au passage des liquides dans les conduits capillaires, a déjà été démontré par les expériences de M. Perkins. Je ne m'y arrêterai pas davantage. Je me bornerai à faire observer, que cet obstacle opposé par la chaleur à la perméation capillaire des liquides, étant d'autant plus grand que les liquides sont plus denses, il est possible que ce soit à cette cause qu'il faille attribuer l'augmentation proportionnelle de la quantité du liquide le moins dense, qui traverse la cloison de l'endosmomètre, lorsqu'on élève la température des deux liquides.

L'endosmose, considérée dans son mode naturel d'existence, ne se trouve appartenir qu'aux seuls êtres organisés, elle ne se rencontre nulle part dans la nature inorganique. Ce n'est, en effet, que chez les seuls êtres organisés que se trouvent des liquides de densités différentes, séparés par des cloisons minces et à pores capillaires; la constitution des corps inorganiques ne nous offre rien de semblable. Ainsi, l'endosmose est un phénomène physique, exclusivement affecté par la nature aux corps organisés; ce n'est que par l'industrie des expérimentateurs, que les solides inorganiques sont appelés à concourir à la production de ce phénomène.

II.

DES ÉLÉMENTS ORGANIQUES

DES VÉGÉTAUX [1].

Si quelque chose peut prouver l'incertitude de nos connaissances sur l'organisation intime des végétaux, c'est la différence des opinions des naturalistes sur cet objet. La source de cette diversité d'opinions est dans l'extrême difficulté de l'observation, qui ne peut se faire sans le secours du microscope, et qui, par conséquent, est passible de toutes les erreurs qu'il est presque impossible d'éviter dans l'emploi de cet instrument. Pour bien juger de la forme d'un objet, il faut l'examiner par toutes ses faces; il faut, de plus, que le tact vienne au secours de la vue. Or, avec le microscope on ne voit jamais les objets que d'un seul côté, et la vision, souvent confuse ou incertaine, qui nous révèle leurs formes est le seul moyen par lequel nous puissions nous instruire à cet égard; le secours précieux du tact nous manque ici nécessairement. Une foule d'illusions d'optique viennent accroître la difficulté de l'investigation. Des réfractions diverses des rayons lumineux font paraître opaques des parties qui sont transparentes, et nous donnent l'idée de formes et de structures qui n'existent véritablement point. Un espace circonscrit plus transparent que les parties qui l'environnent nous paraîtra une ouverture, et si la diaphanéité est parfaite, il nous est impossible de décider si c'est véritablement une ouverture libre ou une ouverture fermée par une membrane diaphane.

Il n'est point étonnant, d'après ces difficultés que présente l'observation, qu'il y ait autant de dissentiment entre les observateurs sur certains points de l'organisation végétale. Le seul moyen qu'il y ait de faire cesser ces dissentiments et d'arriver à la détermination de la vérité, est de varier les formes de l'investigation. Il faut soumettre les organes élémentaires des végétaux à l'examen microscopique après leur avoir fait subir diverses modifications. Les réactifs chimiques offrent un précieux secours à cet égard : tantôt ils rendent opaques certaines parties en laissant aux autres leur transparence; tantôt ils donnent à quelques-unes de ces parties une coloration spéciale, qui aide à les distinguer; tantôt ils dissolvent quelques-unes de ces parties en laissant les autres intactes, etc. En soumettant à l'examen microscopique les organes élémentaires des végétaux ainsi diversement préparés, on se procure des moyens de

[1] Ce mémoire contient ce que j'ai cru devoir conserver de ce que j'ai précédemment publié dans la première section de mes *Recherches anatomiques et physiologiques sur la structure intime des végétaux*; j'y ai ajouté des observations nouvelles.

reconnaître les erreurs qui résultent, dans certains cas, des illusions d'optique. Ces recherches comparées sont indispensables pour parvenir à la connaissance de la vérité. Quiconque ne suit qu'une seule méthode d'investigation, peut être certain de se trouver dans une route d'erreur à beaucoup d'égards. Or l'habitude d'observer toujours de la même manière est le défaut de la plupart des observateurs.

La méthode le plus généralement mise en usage pour observer au microscope les éléments de l'organisation végétale, consiste à réduire le tissu végétal en parties d'une grande ténuité au moyen de la section par un instrument bien tranchant, ou au moyen du déchirement. Les parties ainsi détachées ont de la transparence lorsqu'elles sont fort minces. On augmente cette transparence en les couvrant d'une goutte d'eau; et alors l'œil armé du microscope saisit la forme des organes élémentaires qui composent le fragment de tissu diaphane au travers duquel la lumière est dirigée par le miroir réflecteur du microscope. Cette méthode a ses avantages sans doute, mais elle a aussi ses inconvénients. On a l'avantage, par cette méthode, de voir les organes en place et dans leurs rapports naturels; mais on a l'inconvénient de ne jamais voir ces organes isolés, et d'ignorer même s'ils peuvent être isolés les uns des autres. C'est de cette manière que M. de Mirbel avait été porté à admettre sa première théorie, qui consiste à considérer toute la substance du végétal comme formée par un tissu membraneux continu dans toutes ses parties, et dont les diverses plicatures, ou les boursouflures forment les *cellules* et les *tubes*. D'après cette théorie, il n'eût existé, entre deux cellules contiguës, qu'une seule membrane formant la paroi commune de chacune d'elles. Cette opinion n'a point été partagée par M. Link, et il s'est fondé sur des observations positives pour la combattre [1]. Il a vu que le tissu cellulaire est composé de vésicules souvent séparées les unes des autres, surtout dans les fruits, mais le plus souvent intimement soudées entre elles, en sorte que le tissu cellulaire semblait continu sans aucune interruption. D'autres fois il remarqua, entre les cellules incomplétement réunies les unes aux autres, de petits intervalles déjà vus par Hedwig, qui les a nommés *vasa revehentia*, et par Tréviranus, qui les a nommés *meatus intercellulares* (méats intercellulaires).

M. Link eut recours à la cuisson dans l'eau, pour séparer les unes des autres les cellules qui n'avaient entre elles qu'une faible adhérence dans la gousse du haricot, dans la pomme de terre, dans la racine de persil, etc. Ce que M. Link avait opéré par le moyen de la cuisson dans l'eau et seulement dans quelques cas, je suis parvenu à le faire d'une manière générale au moyen de l'acide nitrique. Je place un fragment quelconque de végétal dans un tube de verre fermé à l'une de ses extrémités, et qui contient de l'acide nitrique concentré; je plonge ensuite ce tube dans l'eau bouillante. Dans l'espace de cinq ou six minutes, et quelquefois moins, le tissu végétal offre une séparation plus ou moins complète de ses éléments organiques. Les cellules se séparent les unes des autres, et l'on voit que la paroi qui séparait deux cellules contiguës est double et non point simple, comme le supposait la théorie de M. de Mirbel. Les tubes s'isolent les uns des autres et se séparent des cellules qui leur sont contiguës. Tous ces organes élémentaires ont leurs parois propres et forment des cavités closes spéciales; ce sont des organes vésiculaires de formes assez variées qui sont contigus les uns aux autres, quelquefois faiblement cohérents, le plus souvent fortement soudés, mais dont la cause d'agglutination et d'adhérence cède quelquefois à la cuisson dans l'eau; et cède constamment à la cuisson dans l'acide nitrique. Ces expériences, qui établissent l'utilité des observations comparées, faites au moyen de divers procédés, prouvent que le tissu végétal n'est point formé d'un tissu membraneux continu dans toutes ses parties.

[1] Recherches sur l'anatomie des plantes (dans les Annales du Muséum d'histoire naturelle, t. XIX).

Cependant M. de Mirbel ne regarda point sa théorie comme infirmée par les faits; voici comment il les expliqua : il admit que deux cellules contiguës sont séparées par une cloison unique qui leur sert de paroi commune, et que cette cloison, ayant une certaine épaisseur, reste à l'état de mollesse dans son milieu, tandis que les deux parties qui correspondent immédiatement à la cavité de chaque cellule acquièrent de la solidité par la dessiccation, en sorte qu'il s'opère du milieu vers les deux surfaces un retrait de matière qui produit les déchirements que l'on observe dans l'épaisseur de la paroi. *Si par le moyen de l'eau bouillante ou de l'acide nitrique*, dit-il, *on parvient quelquefois à isoler les cellules, qu'est-ce que cela prouve, sinon que la substance intérieure des parois résiste moins à l'action de ces dissolvants que la lame superficielle qui limite l'étendue de chaque cavité* [1]?

La théorie de M. de Mirbel était attaquée par des faits, ici il l'a défendue par une hypothèse, mais cette hypothèse n'embrasse pas tous les faits. M. de Mirbel, en supposant que c'est par le fait de leur dessiccation à l'intérieur, que les parois des cellules se séparent en deux lames, n'a pas pensé que cette hypothèse n'est applicable qu'aux cellules remplies d'air et point du tout à celles que sont toujours remplies de liquide: chez celles-ci il n'est point possible d'admettre de dessiccation des parois, et cependant ces cellules se séparent les unes des autres en conservant chacune leur paroi propre; en outre il y a des cellules qui, sans l'emploi d'aucun dissolvant, se présentent, à l'observation, isolées les unes des autres ou du moins n'adhérant entre elles que de la manière la plus faible, et seulement par quelques points; telles sont les cellules globuleuses ou ellipsoïdes qui ne touchent chacune leurs voisines que par un seul point, laissant de larges espaces vides entre elles, dans les autres points. M. Link en a figuré de pareilles dans les planches de ses *Recherches sur l'anatomie des plantes*. J'en ai trouvé de semblables dans l'endocarpe ou noyau de l'abricot soumis à la cuisson dans l'acide nitrique; j'ai trouvé des cellules ellipsoïdes très-grosses et à peine adhérentes les unes aux autres, par leurs points de contact, dans la pulpe de la prune où elles sont extrêmement abondantes; elles se détachent les unes des autres sans l'emploi d'aucun dissolvant. Il est donc certain que ces petits organes creux sont originairement globuleux, et qu'en prenant de l'accroissement, ils se pressent mutuellement dans l'espace circonscrit qui les rassemble, et que c'est par cette pression mutuelle qu'ils prennent les formes polyhédriques, que nous leur voyons le plus souvent. Cette théorie, d'abord émise par Tréviranus, ensuite par Kieser, est aujourd'hui adoptée par tous les naturalistes, et par M. de Mirbel lui-même, qui, convaincu depuis par ses propres observations sur le *marchantia polymorpha* [2] a franchement reconnu la vérité de la théorie qui admet que le tissu végétal est composé d'organes utriculaires juxtaposés et agglutinés plus ou moins fortement les uns aux autres. Quoique je ne sois pas le premier qui ait annoncé cette vérité, je me flatte que l'on connaîtra que j'ai contribué plus qu'aucun autre à l'établir sur des bases solides, comme vérité générale; au moyen de la découverte que j'ai faite du pouvoir que possède l'acide nitrique bouillant, de désagréger, même dans les parties les plus dures du tissu végétal, tous les petits organes creux qui, par leur assemblage, constituent ce tissu; cet acide est le seul qui produise cet effet.

Les organes vésiculaires qui, par leur assemblage, forment le tissu végétal, offrent des formes très-variées; je ne les passerai pas toutes en revue, mon intention n'étant point de donner ici une exposition complète de l'anatomie végétale, mais seulement d'offrir des considérations géné-

[1] Mémoire sur l'origine, le développement et l'organisation du liber et du bois; dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, tome VIII.

[2] Mémoires de l'Académie des Sciences, t. XIII.

rales sur les points principaux de cette science, et spécialement sur ceux par rapport auxquels les opinions sont partagées parmi les savants.

La forme assez ordinaire, mais non générale, des cellules est celle d'un dodécaèdre allongé, terminé par deux bases hexagonales; c'est sous cette forme que se présente ordinairement le tissu cellulaire de la moelle. Les cellules y sont disposées en colonnes longitudinales, dont chaque cellule forme une assise; ces cellules ne communiquent point entre elles, une double paroi les sépare. Appliquées fort exactement les unes contre les autres, par leurs faces contiguës, elles ne laissent entre elles aucun intervalle appréciable, lorsqu'elles ont acquis tout leur développement; mais avant cette époque on distingue très-bien leurs interstices situés dans les angles de leur jonction; ces interstices, nommés par Tréviranus et Kieser *méats intercellulaires*, ont été vus par tous les observateurs modernes.

Tréviranus considère ces méats intercellulaires comme existant originairement entre les cellules qui ne se touchent que par quelques points, en raison de leur forme originairement globuleuse. Mes observations sont sur ce point parfaitement d'accord avec celles de Tréviranus : plus les cellules sont jeunes, plus leurs méats intercellulaires sont proportionnellement grands; à mesure que les cellules croissent en grosseur, et surtout à mesure qu'elles se dessèchent, leurs méats intercellulaires disparaissent par l'effet de l'exacte application de leurs surfaces contiguës. Il se produit presque constamment dans ces méats intercellulaires de la matière organique composée de globules, qui peuvent être les rudiments des cellules nouvelles qui accroissent la masse du tissu cellulaire.

On observe ordinairement dans les parois des cellules des points transparents bordés d'un cercle obscur; selon M. de Mirbel, ce sont des pores bordés d'un bourrelet opaque. Cette opinion n'est point celle de M. Link qui, après avoir beaucoup observé ces petits points transparents, émet l'opinion que ce ne sont point des pores, mais bien *de petits grains fixés sur la membrane et transparents au milieu* [1]. Ainsi cette apparence de pores bordés d'un bourrelet opaque, serait une illusion d'optique produite par la convergence des rayons lumineux, convergence opérée par de petites sphères diaphanes qui agissent sur la lumière comme des lentilles. Pour connaître la vérité d'une manière positive sur cet objet, il était nécessaire d'employer d'autres moyens d'investigation que ceux mis en usage par les observateurs précédents. Voilà celui auquel j'ai eu recours : en observant au microscope la moelle de la sensitive (*mimosa pudica*), j'avais observé que les petits points transparents dont il est ici question transmettaient une lumière verdâtre, tandis que la membrane de la cellule était d'une diaphanéité parfaite. Ce fait me fit pencher vers l'opinion de M. Link. Il me parut que ces petits points transparents et verdâtres dans leur milieu, opaques dans leur pourtour, étaient de petites sphères diaphanes remplies d'un liquide verdâtre. Ayant dissocié les cellules de cette moelle par la cuisson dans l'acide nitrique, j'observai encore ces petits points, mais ils avaient cessé d'être transparents, ils étaient complétement opaques. Je soupçonnai que cette opacité provenait de ce que l'action de l'acide avait coagulé le liquide que je supposais contenu dans les petites cellules sphériques qui formaient ces *points*. Pour vérifier ce soupçon, je soumis les cellules à une nouvelle épreuve : je les mis sur une lame de verre avec quelques gouttes d'une solution de potasse caustique (hydrate de potasse), et je les fis chauffer avec précaution en présentant la lame de verre à la flamme d'une lampe à alcool. Je les soumis de nouveau au microscope et je vis que ces *points*, rendus opaques par l'action de l'acide nitrique, avaient repris leur transparence verdâtre par l'action de l'alcali, lequel, dans cette circonstance, me parut avoir dissous le liquide intérieur

[1] Recherches sur l'anatomie des plantes.

des petites cellules sphériques, liquide que l'action de l'acide aurait rendu opaque en le coagulant. Cette expérience ne me permit plus de douter que les *points* transparents dans leur milieu et opaques dans leur pourtour, que présentent ces parois des cellules ne fussent de petites cellules sphériques remplies d'un liquide diaphane; et qu'il ne fallût abandonner l'idée de M. de Mirbel qui tend à les faire considérer comme des pores.

La moelle est enveloppée, chez les végétaux dicotylédons, par un étui composé de tubes de diverses formes, et qui a reçu le nom d'étui médullaire. Parmi ces tubes, on observe spécialement les trachées, ainsi nommées parce qu'elles sont composées par une réunion de fils spiraux, comme le sont les trachées des insectes. Beaucoup d'opinions diverses ont été émises sur l'organisation des trachées: Hedwig considérait leur spire comme un fil tubuleux roulé sur la partie extérieure d'un tube central membraneux. Bernhardi admet une disposition inverse du tube membraneux, qu'il croit être extérieur à la spire. La tubulure de la spire elle-même, admise par Hedwig, n'a point été confirmée par les observations faites avec les meilleurs microscopes; l'existence d'un tube membraneux intérieur ou extérieur à la spire, de laquelle il serait distinct, n'est point démontrée non plus. M. de Mirbel affirme cependant que dans les vieilles trachées on trouve quelquefois un encroûtement intérieur qui ressemble à un tube, mes observations sur ce point confirment celles de M. de Mirbel. En dissociant par la cuisson dans l'acide nitrique les éléments organiques du *calamus rotang*, j'ai trouvé plusieurs fois de grosses trachées, dont les spires étaient encroûtées sur un tube central formé par une agrégation de petites cellules globuleuses que l'acide nitrique avait rendues de couleur jaune. Mais ce tube central n'existe point originairement à mon avis; je soupçonne qu'il a été formé dans l'intérieur de la vieille trachée, par un dépôt de molécules globuleuses, qui sont devenues adhérentes à ses parois. Les autres trachées de la même plante ne présentent aucune trace de cette organisation.

Les spires des trachées ne sont pas toujours immédiatement appliquées les unes sur les autres; souvent il existe, entre elles, un espace plus ou moins considérable qui est rempli par une membrane transparente. Cela se voit facilement sur les trachées du *solanum tuberosum* dissociées et isolées par la cuisson dans l'acide nitrique. Cette opération, qui développe un gaz dans l'intérieur de tous les petits organes creux végétaux, fournit par cela même un moyen d'apercevoir avec plus de facilité leur organisation. On voit clairement, par ce moyen, que les espaces transparents qui séparent les spires, ne sont pas des fentes en spirale, comme le pense M. de Mirbel, mais que ces espaces transparents sont occupés par une membrane diaphane intermédiaire aux spires qui sont opaques. Ordinairement c'est cette membrane intermédiaire aux spires qui se déchire lorsque, par une traction mécanique, on déroule les trachées; mais il arrive aussi quelquefois que cette membrane est résistante; alors le déroulement de la trachée s'opère par le décollement des deux lames spirales, dont l'association forme la spire générale. C'est ce qu'on voit dans la figure 1 (planche 2). La partie non déroulée *b*, offre des espaces transversaux alternativement obscurs et diaphanes. Les premiers sont occupés par deux lames spirales associées, les seconds sont occupés par la membrane transparente, qui unit entre elles les spires de la lame opaque. Or, la cohésion des éléments de cette membrane transparente étant plus considérable que ne l'est la cohésion réciproque des deux lames qui composent la spire opaque, il en résulte que, lors d'une traction mécanique, la rupture s'opère par la séparation en deux parties de cette lame spirale, comme on le voit en *a*. Alors la membrane transparente se déroule comme un ruban bordé de chaque côté par un rebord opaque et saillant. J'ai rencontré cette sorte de trachée dans le sureau (*sambucus nigra*). Elle s'était présentée aussi à l'observation de M. de

Mirbel, qui l'a figurée dans ses *Éléments de physiologie végétale et de botanique*. C'est sur cette observation qu'il fonde spécialement son opinion, que les lames spirales qui forment les trachées sont bordées par un bourrelet saillant, et que c'est entre ces bourrelets que sont les fentes qui établissent une communication de l'intérieur de la trachée avec le dehors de ce tube.

On voit facilement quelle a été dans cette circonstance la cause de l'erreur de M. de Mirbel. La lame spirale de la trachée est véritablement ici fendue en deux par déchirement, et ce n'est que par cet accident particulier que la membrane transparente intermédiaire aux spires se détache ici sous forme d'un ruban spiral, que M. de Mirbel a pris pour la lame spirale elle-même, laquelle, au contraire, ne fait que border ce ruban. Ainsi les espaces transparents qui existent entre les spires opaques de la trachée dont il est ici question ne sont point des fentes; si ces fentes admises par M. de Mirbel existent réellement, il faut les admettre ici dans le milieu de la lame spirale opaque, dans l'endroit où s'opère la séparation des deux moitiés de cette lame spirale. Or, dans cet endroit la jonction des deux moitiés de la lame spirale opaque est tellement exacte qu'on n'y aperçoit aucune fente. D'après cette observation il y a tout lieu de penser que M. de Mirbel a souvent pris pour des fentes dans les trachées les espaces intermédiaires aux spires et occupés par une membrane diaphane.

Les trachées ne sont, en général, susceptibles de se dérouler que dans leur jeunesse. Lorsqu'elles vieillissent, leurs spires acquièrent de la roideur; elles s'agglutinent plus fortement les unes aux autres, en sorte qu'il n'est plus possible de les dérouler. Cette époque, à laquelle les trachées cessent de pouvoir se dérouler, arrive quelquefois de très-bonne heure, en sorte qu'on rencontre dans de jeunes tissus végétaux des trachées qui ne se déroulent point par l'effet d'une traction mécanique. J'ai rencontré des trachées de ce genre dans l'étui médullaire des jeunes tiges de la sensitive (*mimosa pudica*). Ces trachées ne se déroulent point dans leur état naturel, mais lorsqu'elles ont subi une cuisson suffisamment prolongée dans l'acide nitrique, on les voit se dérouler. J'ai remarqué que dix minutes de cuisson n'étaient pas suffisantes pour produire ce déroulement, tant l'agglutination des fils spiraux des trachées a de ténacité chez la sensitive.

La manière dont les trachées se terminent n'a point été déterminée par l'observation. M. de Mirbel pense qu'elles se terminent en se confondant avec le tissu cellulaire; ceci est plutôt une déduction de sa théorie qu'un résultat de l'observation. Le moyen que j'emploie pour dissocier les organes végétaux, m'a permis d'isoler des trachées dans une grande étendue et de voir leur terminaison qui a lieu par la formation d'une spirale conique, comme on le voit dans la fig. 2, pl. 2; j'ai trouvé les trachées terminées de cette manière dans le pétiole des feuilles du noyer (*juglans regia*), dans le sureau (*sambucus nigra*) et dans le *calamus rotang*. Chez ce dernier j'ai vu quelquefois la trachée subir un étranglement qui représentait deux cônes opposés au sommet, en sorte qu'il semblait que deux trachées, terminées chacune par une spirale conique, se continuaient l'une avec l'autre par le sommet de leurs cônes terminaux.

Les trachées se présentent quelquefois environnées par une couche de petites cellules globuleuses, comme on le voit dans la fig. 3 qui représente une trachée du *clematis vitalba*. Ces petites cellules globuleuses, qui restent adhérentes à la trachée, dans une partie de son étendue, et qui s'en séparent dans d'autres parties, n'appartiennent point à ce tube. Cependant la manière dont elles sont appliquées sur la trachée, leur extrême petitesse et leur diaphanéité les feraient prendre très-facilement pour des pores dont la trachée serait criblée.

Les trachées ne se rencontrent jamais chez les dicotylédones, que dans l'étui médullaire; il n'en existe point dans l'au-

bier ni dans l'écorce, on n'en rencontre jamais non plus dans les racines. Beaucoup d'observateurs, et parmi eux Tréviranus et Link, prétendent avoir trouvé des trachées dans les racines; mais je pense que, dans cette observation, ils ont été induits en erreur, soit par l'apparence de trachées que présentent les *tubes rayés* dont je vais parler tout à l'heure, soit parce que ces observateurs auront pris des tiges souterraines pour des racines. J'ai observé, en effet, que ces tiges souterraines possèdent des trachées comme les tiges aériennes.

Dans l'étui médullaire et auprès des trachées se trouvent de gros tubes qui, tantôt, sont couverts de points transparents qui ressemblent à des pores, et qui tantôt sont couverts de lignes transversales qui ressemblent à des fentes. Lorsqu'on examine ces tubes avec un microscope dont le pouvoir amplificateur n'est pas extrêmement considérable, on ne voit sur leur surface que des points obscurs ou des lignes transversales obscures; mais en employant un grossissement suffisant, on voit un point lumineux au milieu du point qui, auparavant, paraissait obscur, et on découvre un espace transparent au milieu de la ligne qui d'abord avait paru entièrement obscure. Les tubes couverts de points transparents ont été nommés *vaisseaux poreux*, par M. de Mirbel; il a donné le nom de *vaisseaux fendus* ou de *fausses trachées*, aux tubes couverts de lignes transversales transparentes. M. de Candolle désigne les premiers par le simple nom de *vaisseaux ponctués*, et les seconds par celui de *vaisseaux rayés* [1]. J'adopte ces derniers noms, parce qu'ils sont la simple expression de l'apparence sous laquelle ces tubes se présentent à l'observation. M. de Mirbel admet que les points transparents situés sur les *tubes ponctués*, sont réellement des pores par lesquels les substances contenues dans le vaisseau peuvent s'écouler en dehors; il admet que les lignes transversales transparentes, situées sur les *fausses trachées*, sont réellement des fentes qui servent au même usage que les pores; il reconnaît qu'il y a des *vaisseaux mixtes*, lesquels possèdent, à la fois, des *pores* et des *fentes*; enfin, il admet qu'il y a des vaisseaux qui sont alternativement, et dans diverses portions de leur étendue, véritables trachées, vaisseaux fendus et vaisseaux poreux; de même qu'il a admis dans les trachées, des bourrelets bordant les fentes, de même il admet ces mêmes bourrelets bordant les fentes des fausses trachées et les pores des vaisseaux poreux.

L'existence des tubes qui seraient trachées véritables dans une partie de leur étendue, et fausses trachées dans une autre partie, n'a point lieu; je m'en suis assuré par des observations extrêmement multipliées. Le moyen chimique que j'emploie pour dissocier les organes végétaux m'a mis à même d'observer les trachées complétement isolées, dans une étendue souvent considérable, et jamais il ne m'est arrivé de les voir changer de nature; je pense donc que ce sont des trachées à spires soudées, que M. de Mirbel aura prises pour des fausses trachées; et en effet, l'erreur est ici très-facile à commettre. L'existence simultanée des *pores* et des *fentes*, ou plutôt des *points* et des *raies*, sur un même tube, est un fait certain. Les lignes transparentes transversales qui couvrent les *tubes rayés*, sont irrégulièrement interrompues, en sorte qu'il arrive souvent qu'il y a des fractions très-courtes de ces lignes qui se trouvent isolées et qui simulent alors des pores un peu allongés dans le sens transversal. De ces *pores elliptiques* aux *pores ronds*, la transition est naturelle; ainsi je pense qu'on doit considérer les *pores* et les *fentes* des tubes, ou plutôt leurs *points* et leurs *raies*, comme des parties identiques par leur nature, mais différentes par leur forme.

Les *tubes ponctués* et les *tubes rayés* n'existent pas seulement dans l'étui médullaire : on les trouve dans toute la partie du système central qui, chez les di-

[1] Organographie végétale.

cotylédones, est extérieure à l'étui médullaire. Ce sont ces tubes dont on voit les orifices à l'œil nu sur la coupe transversale de plusieurs végétaux ligneux, et notamment de la vigne et de la clématite, *clematis vitalba*. Chez ces deux végétaux, ces tubes sont fort gros et extrêmement nombreux; chez d'autres végétaux ligneux, tels que le chêne, on trouve ces tubes dans l'intervalle qui sépare chacune des couches d'aubier. Les gros tubes de la vigne sont des *tubes rayés;* les gros tubes de la clématite sont des *tubes ponctués;* ces tubes, dans ces deux végétaux, sont extrêmement faciles à observer; la cuisson dans l'acide nitrique les isole parfaitement. Les tubes rayés de la vigne, et les tubes ponctués de la clématite, étudiés avec soin, pourront donc conduire à des résultats généraux sur la structure de ces sortes de tubes.

Dans mon ouvrage publié en 1824 [1] j'exposai les recherches que j'avais faites avec des microscopes moins puissants que ceux dont je me suis servi depuis. J'affirmai alors que les *points* et les *raies* qui couvrent les tubes ne sont point des *pores* ni des *fentes,* ainsi que l'admet M. de Mirbel. Cependant les assertions de ce dernier parurent recevoir depuis une éclatante confirmation par le témoignage de M. Amici, dont le microscope admirable semblait devoir lever tous les doutes qui pouvaient exister sur cet objet. Ce microscope n'existait point encore en France en 1827, lorsque M. Amici l'apporta à Paris. Tous ceux qui portent de l'intérêt aux progrès des sciences naturelles s'empressèrent d'aller voir et admirer ce nouvel instrument qui devait étendre et rendre plus certaines nos connaissances dans le monde microscopique. M. Amici se prononça ouvertement pour l'existence des pores et des fentes dans les parois des tubes végétaux; il fit voir ces pores et ces fentes aux savants les plus distingués, et tous demeurèrent convaincus de la réalité de leur existence. Ce point de la science parut dès lors définitivement fixé. Quelques semaines après, M. Amici vint à Londres, où je me trouvais alors, et je m'empressai de répéter avec lui mes observations sur les tubes des végétaux. M. Amici mit en usage, pour ces observations, le procédé employé et indiqué par M. de Mirbel. Une lame extrêmement mince est enlevée sur le tissu d'un végétal avec un instrument très-tranchant, et cette lame de tissu végétal est soumise au microscope légèrement couverte d'eau, afin d'augmenter sa transparence. De cette manière on met à nu des tubes végétaux dans une certaine portion de leur étendue, et on peut les observer très-facilement par transparence. Par ce moyen, M. Amici me fit voir ce qu'il prenait pour des *pores* sur les tubes du *calamus verus,* et pour des fentes transversales sur les tubes de la vigne. Je mis à mon tour mon procédé en usage : je dissociai les éléments organiques du bois de la vigne, au moyen de la cuisson dans l'acide nitrique, et ils furent soumis au microscope. Nous vîmes des tubes parfaitement isolés. Ces tubes sont couverts de *raies* qui ressemblent à des *fentes;* elles sont de longueurs très-diverses. La figure 4 représente un de ces tubes; lorsque nous les observions sur une lame mince, enlevée avec un instrument tranchant, nous voyions leurs *raies* transversales parfaitement diaphanes dans leur milieu, et bornées de chaque côté par une ligne obscure; il était impossible alors de ne pas croire que c'étaient là de véritables fentes bordées par un bourrelet opaque, ainsi que l'admet M. de Mirbel; mais lorsque nous observâmes ces tubes, à l'état d'isolement où les avait placés la cuisson dans l'acide nitrique, la scène changea; nous vîmes de même les *raies* transversales bordées de chaque côté par une ligne obscure, mais leur milieu ne transmettait plus qu'une lumière jaune, ce qui contrastait fortement avec la diaphanéité parfaite des parois du tube sur lequel ces *raies* transversales étaient situées. Cette expérience, que j'avais faite auparavant, mais que j'étais charmé de répéter avec M. Amici,

[1] Recherches anatomiques et physiologiques sur la structure intime des animaux et des végétaux.

et avec son microscope, prouve incontestablement que les *raies* transversales des *tubes rayés* de la vigne ne sont point des *fentes*, mais bien des organes linéaires cylindriques, lesquels, parfaitement diaphanes dans l'état naturel, sont jaunis par l'action de l'acide nitrique ; l'opacité de leurs bords est un effet de la réfraction de la lumière.

Cette expérience a eu pour témoin le célèbre botaniste Robert Brown. Chacun peut la répéter avec facilité ; il obtiendra le même résultat qui s'est constamment reproduit dans mes nombreuses observations. J'ai pu de même acquérir la certitude que je n'avais point commis une erreur, en affirmant que les *points* transparents qui existent sur les *tubes ponctués* ne sont point des *pores*. L'observation des gros tubes de la clématite (*clematis vitalba*) m'en a fourni la preuve. Lorsqu'on examine ces gros tubes sur une lame mince enlevée avec un instrument tranchant, on voit leurs *points* transparents, qui sont un peu allongés dans le sens transversal, parfaitement diaphanes dans leur milieu ; leur bord est occupé par une ligne obscure. On peut alors les prendre avec M. de Mirbel et avec M. Amici, pour des pores environnés par un bourrelet opaque ; lorsqu'on isole ces gros tubes au moyen de la cuisson dans l'acide nitrique, on trouve qu'ils sont formés de pièces articulées les unes avec les autres, et qui se séparent avec facilité. Chacun de ces articles est couvert de petits organes elliptiques, entourés par une ligne obscure, et dont le milieu transmet une lumière jaune qui contraste avec la diaphanéité parfaite des parois du tube.

Ces petits organes qui, dans l'état naturel, sont parfaitement diaphanes et que l'acide nitrique rend jaunes, ne sont pas plus des *pores*, que les raies transversales des tubes de la vigne ne sont des *fentes*. Il est de la plus grande évidence, que ces *points* et ces *raies* sont des organes d'une excessive ténuité, tantôt allongés comme un fil transparent, tantôt réduits à n'avoir que l'apparence d'un point diaphane. L'acide nitrique altère la diaphanéité de ces petits organes, et les rend jaunes dans les tubes de la vigne et de la clématite ; mais il ne produit pas cet effet sur ces mêmes organes chez tous les végétaux, en sorte qu'ils conservent quelquefois constamment leur transparence. J'ai expérimenté qu'une solution d'hydrate de potasse rend la diaphanéité parfaite aux petits organes jaunis par l'acide dans les tubes de la vigne et de la clématite. Cette expérience prouve que les petits organes qui couvrent la surface des tubes, sont exactement de la même nature que ceux qui existent sur les parois du tissu cellulaire : car la même expérience, rapportée plus haut, a produit un effet analogue sur les prétendus pores du tissu cellulaire. Ces observations seraient suffisantes, pour infirmer sans retour l'hypothèse de l'existence des pores et des fentes visibles au microscope, dans les parois des cellules et dans celles des tubes végétaux quand bien même M. Adolphe Brongniart n'aurait pas trouvé le moyen de faire voir directement que ces prétendues perforations visibles n'existent pas ; on n'avait songé avant lui qu'à examiner au microscope les lames minces enlevées longitudinalement sur la tige d'un végétal, il a eu l'idée d'observer des lames minces enlevées transversalement ou horizontalement sur cette même tige ; de cette manière, en multipliant les coupes, on finit par tomber sur la coupe transversale de quelques-unes de ces prétendues perforations, et M. Adolphe Brongniart a vu que, dans cet endroit, il existait une membrane obturatrice beaucoup plus mince que la membrane du tube ou de l'utricule, ce qui faisait qu'on prenait le petit espace qu'elle occupait pour une perforation. Je pense que cette membrane fine était l'une des parois de l'un des petits organes utriculaires, dont j'ai signalé l'existence sur les parois des tubes et des cellules, et que la paroi opposée avait disparu par l'effet de l'instrument tranchant, qui ne peut guère diviser en deux des organes utriculaires aussi petits, sans briser au moins l'une de leurs parois.

Les gros tubes *rayés* ou *ponctués* ont toujours une longueur considérable, en

sorte que leur terminaison est assez difficile à rencontrer. J'ai vu, dans les pétioles des feuilles de la sensitive, que la terminaison de ces gros tubes s'opère, comme celle des trachées, par la formation d'une pointe ou d'une extrémité conique.

Les gros tubes sont tous, dans l'origine, composés d'articles ou de cellules placées à la file; ordinairement, cette organisation disparaît de bonne heure, mais quelquefois aussi elle persiste dans les tubes des parties végétales plus ou moins âgées. Ainsi, les gros tubes ponctués de la clématite(*clematis vitalba*)sont toujours composés d'articles qui se séparent les uns des autres, au moyen de la cuisson dans l'acide nitrique. Ce sont évidemment des *tubes en chapelet*, dont les cellules, placées bout à bout, ont perdu leurs cloisons intermédiaires dans le lieu de leur jonction. Cette organisation se voit de même dans les gros tubes rayés des tiges très-jeunes de la vigne. Lorsque, par la cuisson dans l'acide nitrique, on dissout les éléments organiques de ces jeunes tiges, on obtient des tubes rayés isolés, et ces tubes sont composés d'articles, lesquels sont séparés les uns des autres par des *cloisons* ou par des *diaphragmes* intérieurs. La cuisson, dans l'acide nitrique, remplit tous les petits organes creux végétaux d'un gaz, dont on distingue parfaitement la présence en couvrant ces petits organes dissous d'une goutte d'eau. Or, dans les tubes des jeunes tiges de la vigne préparés ainsi, on voit autant de bulles d'air séparées les unes des autres qu'il y a d'articles, ce qui prouve bien que ces articles sont séparés les uns des autres par une cloison. Plus tard, ces cloisons intérieures se rompent, et il ne reste pour indiquer leur existence primitive, qu'un bourrelet circulaire qu'on voit au microscope dans l'intérieur et à chaque article de ces tubes, lorsqu'ils sont un peu plus âgés. Dans les tiges de la vigne, âgées d'un an ou plus, les gros tubes dont on voit si facilement les orifices à l'œil nu, ne sont plus composés d'articles ou de cellules articulées les unes avec les autres; ils offrent des parois continues. On serait tenté d'admettre que la formation de ces gros tubes serait due à un développement considérable des tubes articulés et plus petits qui existaient dans le principe, mais l'observation m'a prouvé que la formation de ces gros tubes s'opère par un mécanisme différent. Pour étudier cette formation, il faut choisir une tige de vigne d'un pouce et demi ou deux pouces de diamètre. Dans ces grosses tiges de vigne, les tubes très-gros n'existent point encore dans les couches les plus récentes de l'aubier, lesquelles n'offrent que des petits tubes rayés contenus dans le tissu cellulaire des rayons médullaires. En étudiant attentivement les phénomènes d'organisation qui accompagnent les gradations de grosseur de ces tubes du dehors vers l'intérieur, j'ai vu que plusieurs de ces petits tubes juxtaposés, se réunissent pour en former un seul beaucoup plus gros, et cela au moyen de la disparition de leurs parois contiguës. Ces gros tubes sont ainsi des sortes de *lacunes,* et cependant leur paroi forme une membrane continue, par l'agglutination des pièces de rapport dont elle est composée. On distingue très-bien ces *pièces de rapport* au miscroscope, lorsqu'on a isolé un de ces gros tubes par le moyen de la cuisson dans l'acide nitrique, et en confrontant ces pièces avec les petits tubes rayés qui ont conservé leur simplicité originelle, on voit parfaitement leur similitude.

La théorie de la formation des tubes *ponctués* ou *rayés,* au moyen de la réunion d'une série rectiligne de cellules, dont les cloisons intermédiaires ont disparu, a déjà été émise par M. Tréviranus. Ce savant donne hypothétiquement le même mode d'origine aux trachées, mais il n'existe aucun fait dont l'observation puisse justifier une pareille assertion.

La partie ligneuse des végétaux est spécialement composée par un élément organique très-remarquable, aperçu d'une manière peu distincte par MM. de Mirbel et Link, et qui n'est bien connu que depuis que j'ai trouvé le moyen de dissocier les éléments organiques des végétaux, par

le moyen de la cuisson dans l'acide nitrique. Cet élément organique végétal consiste ordinairement dans des tubes fusiformes; tels sont ceux du bois de la vigne (planche 2, fig. 5, A.). Quelquefois, ces tubes sont semblables à de longues aiguilles, pointues par leurs deux extrémités; tels sont ceux qui se trouvent dans la tige aérienne du *ruscus aculeatus* (fig. 5, B.). M. de Mirbel a désigné le tissu que ces tubes forment par leur assemblage, sous le nom de *tissu cellulaire allongé;* M. Link l'a nommé *tissu d'aubier;* le docteur Tréviranus a désigné les organes qui composent ce tissu, sous le nom d'*utricules fibreuses*. Le nom de tissu *cellulaire allongé* ne peut convenir à de véritables tubes rassemblés en faisceaux; le nom de *tissu d'aubier* ne convient point non plus, puisqu'un tissu tout semblable, mais seulement plus lâche, existe dans l'écorce. J'avais proposé, autrefois, de désigner ces tubes fusiformes par le nom de *clostres*. Cette dénomination n'ayant point été adoptée par les phytologistes, je l'abandonne; sentant toutefois l'indispensable nécessité de désigner ces tubes tout à fait spéciaux par un nom particulier, j'adopterai, en le modifiant, le nom que leur a donné Tréviranus, et je les désignerai dorénavant par le nom de *tubes fibreux;* ce sont ces tubes longitudinaux qui forment spécialement ce que l'on nomme vulgairement les *fibres* du bois. Ces *tubes fibreux* ont leurs deux extrémités terminées en pointe, toujours munies d'une ouverture quelquefois ronde, mais plus souvent allongée et taillée en biseau, comme on le voit dans la figure 5, A *d d*. Cette ouverture se joint à l'ouverture semblable, que présente le tube fibreux suivant. J'ai constaté avec le plus grand soin ce fait de la jonction des orifices terminaux des tubes fibreux chez la sensitive, chez le *calamus verus* et dans le bois de la vigne, en dissociant incomplétement leurs éléments organiques au moyen de la cuisson dans l'acide nitrique. Comme l'action de cet acide développe ordinairement un gaz dans l'intérieur des petits organes élémentaires des végétaux cela m'a fourni le moyen de m'assurer que les tubes fibreux sont creux dans toute leur étendue. Il résulte de cette observation, que les tubes fibreux, ainsi joints par les ouvertures de leurs pointes, forment par leur assemblage des canaux très-longs, dont la cavité est continue. Ces canaux offrent ainsi, à chaque jonction d'un tube fibreux avec un autre, un rétrécissement qui rend leur capillarité prodigieuse. On peut s'en faire une idée, par la mesure de ces tubes fibreux que j'ai prise au microscope solaire, chez la sensitive. Ceux qui existent dans l'écorce de cette plante et qui sont deux fois plus grands que ceux de la partie ligneuse, n'ont qu'environ un millimètre et demi de longueur sur 1/55 de millimètre de largeur dans leur partie moyenne, qui est la plus renflée. On peut juger par, là, de quelle ténuité devient le canal de leur pointe.

Les tubes fibreux ne sont pas toujours composés d'une seule pièce, comme on le voit en *a a* (planche 2, fig. 5, A). Souvent ils sont composés de deux articles, comme on le voit en *b*, et quelquefois de trois articles, comme on le voit en *c*. Ces articles se dissocient par la cuisson dans l'acide nitrique, ce qui prouve que les tubes fibreux sont formés chacun par une cellule, soumise à un mode de développement particulier, ou par la réunion de plusieurs cellules allongées et placées bout à bout; alors les cellules intermédiaires demeurent cylindriques, et les deux cellules terminales prennent seules une forme pointue par leur extrémité articulée avec le tube fibreux suivant. Il arrive quelquefois qu'il se trouve une assez grande quantité de cellules articulées les unes avec les autres, et interposées aux deux pointes terminales du tube fibreux. C'est ce qui a lieu, par exemple, dans le bois de la clématite (*clematis vitalba*). Cette organisation m'avait même fait douter d'abord que ce végétal possédât de véritables tubes fibreux.

Les tubes fibreux sont ordinairement disposés en faisceaux, qui affectent la forme d'un réseau dont les mailles sont remplies par du tissu cellulaire. Plus ce

tissu cellulaire est abondant, plus les faisceaux des tubes fibreux deviennent rares, et plus le tissu végétal devient mou.

Les bois les plus compactes et les plus durs offrent en général les tubes fibreux les plus petits. Cependant, cette assertion ne doit pas être généralisée; car, c'est moins aux tubes fibreux eux-mêmes qu'à la substance qu'ils contiennent que les bois durs doivent la solidité de leur tissu; c'est à cette même substance qu'ils doivent leur coloration, comme le prouve l'expérience suivante. J'ai soumis un fragment de bois d'ébène à la cuisson dans l'acide nitrique. Les tubes fibreux se sont dissociés et sont devenus d'un blanc nacré, tandis que l'acide s'est fortement chargé de la substance colorante noire qu'ils contenaient. C'est cette substance contenue dans les tubes fibreux, qui change de couleur et de consistance par le progrès de la végétation, et c'est par ce changement survenu dans la composition de cette substance que s'opère la transmutation de l'aubier en *duramen* [1]. Chez les bois qui, comme le saule et le peuplier, sont blancs, mous et légers, il paraît que les tubes fibreux ne contiennent que de la séve de peu de densité, et qu'ils demeurent remplis d'air lorsqu'elle a été dissipée par l'évaporation, ou employée à la nutrition; au contraire, dans les bois durs et pesants, les tubes fibreux sont remplis par une substance d'une densité plus ou moins considérable. Dans les bois légers, tels que le saule et le peuplier, la formation du duramen ne se manifeste point par une augmentation de dureté, mais simplement par une légère coloration.

Il existe un rapport très-évident entre le degré de lenteur du développement des arbres, et le degré de dureté de leur bois. Le buis par exemple, dont le bois s'accroît si lentement, est d'une grande dureté, tandis que le peuplier, dont l'accroissement est très-rapide, offre un bois très-mou. Les végétaux herbacés ont généralement très-peu de tubes fibreux; les parties très-molles n'en contiennent point, en sorte qu'il paraît que l'abondance de ces tubes fibreux est la cause de la solidité du tissu végétal. Les tiges fort molles, telles, par exemple, que la hampe de la fleur du pissenlit (*leontodon taraxacum* L.), n'offrent à l'observation que des cellules articulées dans le sens longitudinal, et formant ainsi par leur association des *tubes en chapelet*.

M. de Mirbel pense que les sucs résineux contenus dans l'écorce de la plupart des conifères, sont ébauchés dans des *lacunes* produites par le déchirement du tissu cellulaire. J'ai trouvé que ces sucs résineux sont contenus dans des tubes irrégulièrement renflés et tortueux; je les ai isolés complétement par le moyen de la cuisson dans l'acide nitrique. Cette observation, qui paraît en opposition avec l'opinion de M. Mirbel, ne l'infirme cependant point. Toute lacune est tapissée par une membrane, formée par la réunion des débris des cellules qui ont été rompues lors de la formation de cette même lacune. C'est ce que l'on voit clairement, par exemple, dans la cavité centrale de la tige des plantes fistuleuses, cavité qui est une vaste lacune. Or, il en est de même des lacunes qui contiennent les sucs résineux dans l'écorce des conifères, elles sont tapissées intérieurement par une membrane d'une seule pièce, que l'on isole par le moyen de la cuisson dans l'acide nitrique; c'est un *sac cellulaire* dont la formation est, pour ainsi dire, *accidentelle*. Ce n'est point un organe *originairement existant*, et cependant c'est véritablement *un organe spécial*. Ce fait est à noter pour la science de la formation des organes ou pour l'*organogénie*.

[1] Je propose de donner, comme en latin, le nom de *duramen* à ce que l'on nomme vulgairement le *bois de cœur*. Jusqu'à ce jour, les botanistes ont désigné cette partie sous le simple nom de *bois*, la distinguant ainsi de l'aubier, qui de cette manière ne serait pas *du bois*. Or, cela est manifestement contraire aux idées généralement reçues; l'*aubier* est du jeune bois encore à l'état de mollesse et de blancheur; le *duramen* est du vieux bois devenu dur et coloré.

Les lacunes offrent, dans le mode de leur formation, des différences qu'il est très-important de signaler. Les plus simples sont celles que je viens d'indiquer et qui consistent dans un simple déchirement du tissu cellulaire. Il en est d'autres qui sont formées par la disparition de certaines portions de tissu cellulaire sans aucun déchirement. Ces sortes de lacunes sont très-communes chez les végétaux monocotylédons. Lorsqu'on coupe transversalement la tige d'un végétal ligneux monocotylédon, tel par exemple qu'un *ruscus*, on voit à l'œil nu les orifices d'une foule de gros tubes qui ne contiennent que de l'air. Ces gros tubes ne ressemblent point par leur organisation aux gros tubes des dicotylédons, quoique leur fonction soit de même de contenir de l'air. Chez les monocotylédons les parois de ces gros tubes sont toujours composées de petites cellules. Cette organisation fait qu'on ne peut isoler ces tubes par la cuisson dans l'acide nitrique, lequel dissocie les petites cellules qui composent leurs parois. Aussi lorsqu'on soumet à cette opération un fragment de végétal ligneux monocotylédon, tel que le *rotang*, on n'obtient que des trachées, des tubes fibreux, et des cellules, on n'obtient pas un seul des gros tubes, dont on aperçoit les orifices à l'œil nu. C'est que les parois de ces gros tubes sont composées de cellules ou d'éléments organiques, dissociables par l'action de l'acide nitrique. Cependant une cuisson ménagée du rotang dans cet acide un peu affaibli, procure des fragments isolés de ces gros tubes; et on voit, de cette manière, que leurs parois sont composées par une agrégation de petites cellules globuleuses, auxquelles l'action de l'acide nitrique a donné une couleur jaune, en leur conservant de la transparence. Ces cellules sont rondes chez le *calamus verus*, et elliptiques chez le *calamus rotang*. Ainsi ce sont des *tubes à parois cellulaires*. Les petites cellules globuleuses qui composent les parois de ces tubes chez les rotang, sont différentes des cellules polyèdres qui les environnent; ce ne sont donc point des *lacunes* produites par le déchirement du tissu cellulaire. Or, chez tous les monocotylédons on trouve constamment cette organisation cellulaire des parois, des gros tubes destinés à contenir de l'air, tubes que M. Rudolphi nomme *vaisseaux pneumatiques*, et que M. de Candolle désigne sous le nom de *cavités aériennes*. Leur origine et leur formation sont assez faciles à voir chez le *potamogeton natans*. En examinant, au microscope, le sommet de la tige naissante et encore souterraine de cette plante, on voit que son tissu est composé de cellules disposées en séries longitudinales, et remplies d'une substance opaque. Un peu plus tard on voit que les parois de ces cellules sont composées de très-petites cellules, et que la substance opaque contenue dans leur intérieur, n'est autre chose qu'un amas de très-petites cellules globuleuses, qui ressemblent à des grains de fécule. Ces petites cellules globuleuses intérieures ne se développent point, mais les petites cellules extérieures, qui par leur réunion composent les parois des grandes cellules, se développent, ce qui augmente le volume des grandes cellules, lesquelles déjà ne méritent plus ce nom; elles sont devenues des organes creux à parois cellulaires et remplies de petites cellules globuleuses; comme ces dernières ne se développent point et que la cavité de l'organe qui les contient s'accroît sans cesse, il se forme un vide dans cet organe: bientôt toutes les petites cellules globuleuses intérieures disparaissent, elles sont absorbées et la cavité qu'elles occupaient reste remplie d'air. Ainsi cette cavité est une véritable *cellule à parois cellulaires* développées; ce n'est point, comme on l'a cru, une lacune opérée par le déchirement du tissu cellulaire. Les cavités cellulaires disposées avec régularité, que l'on observe dans les tiges aériennes des *scirpus*, ne sont point non plus des lacunes produites par le déchirement régulier du tissu cellulaire, ainsi que l'a pensé M. de Mirbel. Ces cavités, qui finissent par ne contenir que de l'air, existaient dès l'origine de la tige contenant un tissu cellulaire très-petit et très-délicat, qui disparaît bientôt par absorption et qui

livre ainsi sa place à de l'air. Ainsi ces cavités qui sont fort régulières représentent exactement l'organisation primitive de la tige du *scirpus*.

Ces observations prouvent que les tubes des végétaux n'existent point dans le principe; *ils se forment*, et leur *formation* est toujours le résultat d'une disparition de quelques portions du tissu organique; ainsi, les tubes en chapelet se forment par la disparition des cloisons transversales qui séparaient, les unes des autres, les cellules qui forment chacun de leurs articles; les gros tubes de certains dicotylédons se forment par la disparition des parois contiguës de plusieurs petits tubes en chapelet, qui se réunissent pour en former un seul. Les gros tubes des monocotylédons se forment par la disparition du tissu cellulaire rudimentaire contenu dans de grosses cellules alignées, dont les cloisons transversales disparaissent aussi.

Tout être organisé est recouvert par une membrane qui met son tissu organique vivant à l'abri du contact et de l'influence immédiate des corps et des agents du dehors. La partie la plus extérieure de cette membrane porte le nom d'*épiderme* chez les animaux, parce qu'elle recouvre le *derme*; elle est généralement désignée par ce même nom d'*épiderme* chez les végétaux, quoiqu'on ne reconnaisse point ici de *derme* qui soit sous-jacent; on la nomme aussi *cuticule*.

Pour bien voir la structure de l'épiderme, il faut prendre une feuille de plante herbacée un peu épaisse, une feuille de lis, par exemple; on soulève l'épiderme avec la pointe d'un canif, et au moyen du déchirement, on obtient un lambeau plus ou moins long de cette membrane. En l'examinant au microscope, on voit que dans l'endroit où la membrane, successivement amincie par l'effet du déchirement, est réduite à ne posséder que sa partie superficielle, elle n'offre aucun indice d'organisation, sa diaphanéité est parfaite; il n'en est pas de même dans les endroits où la membrane possède toute son épaisseur; là le microscope fait apercevoir une structure organique particulière, la membrane paraît composée par une agglomération de cellules dont les formes sont très-diverses, et qui sont toujours très-différentes des cellules du parenchyme que recouvre cette membrane. L'enveloppe tégumentaire a donc une structure différente à sa partie extérieure et à sa partie intérieure; en dehors elle est sans trace d'organisation, et diaphane comme du verre; en dedans elle présente des organes celluleux. Ce fait prouve que la membrane désignée, chez les végétaux, par le nom d'épiderme, est, dans le fait, l'assemblage de deux membranes distinctes: l'une extérieure et l'autre intérieure. M. Adolphe Brongniart [1] est parvenu à isoler, dans la feuille du chou, et au moyen d'une macération de plusieurs mois, la partie extérieure de l'enveloppe tégumentaire, partie qui seule mérite le nom d'*épiderme* ou de *cuticule*; la partie intérieure et celluleuse me paraît pouvoir être désignée par le nom de *tégument cellulaire*. C'est en vain que j'ai essayé d'obtenir, par le déchirement, l'isolement de l'épiderme chez la feuille du chou, isolement que M. Adolphe Brongniart a obtenu par la macération, toujours la membrane obtenue par ce procédé mécanique paraît celluleuse, elle offre par conséquent la réunion de l'*épiderme* et du *tégument cellulaire*; il en est de même chez la plupart des plantes: leur véritable *épiderme* est si ténu et tellement adhérent au *tégument cellulaire* sous-jacent, qu'on ne peut que rarement l'en séparer mécaniquement. Le *tégument cellulaire* ou la partie intérieure de l'enveloppe tégumentaire des plantes est composée, ordinairement, d'une seule couche de cellules diaphanes qui paraissent remplies d'eau; quelquefois le *tégument cellulaire* est plus épais, et offre plusieurs couches de cellules; c'est ainsi qu'il se présente sur la feuille du laurier-rose

[1] Recherches sur la structure et sur les fonctions des feuilles; dans les Annales des Sciences naturelles, t. XXI.

(*nerium oleander*), suivant les observations de M. Adolphe Brongniart. Les tiges, en prenant de l'âge, acquièrent aussi un tégument cellulaire composé de couches plus ou moins nombreuses; c'est ce que l'on nomme improprement l'*épiderme* chez le merisier (*prunus avium*), et chez le bouleau (*betula alba*); j'ai observé de même un tégument cellulaire composé de plusieurs couches superposées, sur la tige rampante ou rhizome de l'*iris germanica* et sur les racines de l'asperge.

L'enveloppe tégumentaire des parties herbacées offre des ouvertures fort petites; elles ont d'abord été nommées *pores corticaux* par M. de Candolle, lequel a ensuite adopté le nom de *stomates* qui a été donné à ces ouvertures par M. Link. Quelques observateurs ont nié que les stomates fussent des ouvertures percées à jour et servant à établir la communication du dehors avec l'intérieur du tissu végétal; mais ce fait, qui a été vu d'abord par MM. de Candolle et Link, a été confirmé depuis de manière à ne plus laisser aucun doute, par les observations de M. Amici et par celles de M. Adolphe Brongniart; ces deux observateurs ont vu que les ouvertures des stomates communiquent immédiatement avec des cavités pneumatiques, situées dans le tissu végétal.

III.

RECHERCHES

SUR

L'ACCROISSEMENT DES VEGÉTAUX [1].

SECTION Ire.

DE L'ACCROISSEMENT DES VÉGÉTAUX EN DIAMÈTRE.

§ I. — *De l'accroissement en diamètre des végétaux dicotylédons.*

Les végétaux, pendant tout le temps de leur vie, accroissent leur masse au moyen de matériaux qu'ils puissent au dehors. Cet accroissement est continuel ou ne souffre d'autre interruption que celle qui résulte, dans quelques circonstances, de la suspension momentanée du mouvement de la vie, en sorte que, pour les végétaux, *vivre* et *croître* sont pour ainsi dire deux mots synonymes. Le végétal s'accroît sans cesse soit par des productions extérieures, soit dans le tissu intime de ses parties. Les tiges d'un côté s'allongent et s'élancent dans l'atmosphère, les racines du côté opposé s'allongent et s'enfoncent dans le sol qui doit les nourrir; en même temps ces diverses parties s'accroissent en diamètre. Le mécanisme au moyen duquel s'opère l'accroissement dans ces diverses directions est fort important à connaître, aussi cette recherche a-t-elle beaucoup occupé les naturalistes. Cependant, malgré la multiplicité de leurs travaux, nous sommes loin d'avoir sur ce point de la science des notions satisfaisantes.

L'accroissement en diamètre des arbres dicotylédons est le phénomène d'accroissement dont on s'est le plus occupé; la multiplication annuelle des couches concentriques dont se compose le bois de ces arbres a dû, dans tous les temps, frapper les yeux les moins observateurs, et il a dû sembler facile d'arriver à la connaissance du mécanisme au moyen duquel s'opère cet accroissement. Malpighy [2] est un des premiers qui ait tenté de résoudre ce problème. Il pense que la partie intérieure de l'écorce, ou le *liber,* est la seule partie destinée par la nature à opérer l'accroissement en diamètre. Selon lui, les vaisseaux ou les *fibres* dont cette partie est composée ont pour usage de conduire la séve et de l'élaborer. Lorsque, par le progrès de l'âge, ces fibres ont acquis trop

[1] Ce mémoire, que je publie ici avec de nombreux changements et des additions importantes, a été imprimé en 1820 dans les tomes 7 et 8 des Mémoires du Muséum d'histoire naturelle, sous le titre de : *Recherches sur l'accroissement et la reproduction des végétaux*. J'y avais joint alors des observations d'embryologie végétale, qui forment le quatorzième mémoire de cette collection.

[2] *Plantarum anatome.*

de roideur pour remplir leurs fonctions, elles se réunissent au bois avec lequel elles contractent adhérence au moyen d'un suc ligneux et du tissu cellulaire.

Grew [1], contemporain de Malpighy, émet une opinion différente. Il pense qu'entre le liber et le bois il se forme chaque année un anneau de vaisseaux séveux émanés de l'écorce, et que c'est cet anneau qui devient bois. L'opinion de Grew diffère de celle de Malpighy, en ce que ce dernier pense que c'est le liber lui-même qui devient bois, tandis que, selon Grew, le bois est formé par une production du liber, et non par le liber lui-même.

L'opinion de Hales est diamétralement opposée aux deux précédentes. Il pense que la nouvelle couche de bois provient d'une extension des fibres de la couche ligneuse de l'année précédente, et que la nouvelle couche d'écorce dérive de même de l'aubier.

L'opinion de Mustel est différente [2]. Il pense que les émanations du corps ligneux forment la nouvelle couche de bois, au moyen de la séve montante, et que les émanations du liber forment en même temps une nouvelle couche de liber, au moyen de la séve descendante.

Duhamel [3] a tenté d'éclaircir ce sujet obscur par plusieurs expériences desquelles il a cru pouvoir conclure que c'est la couche intérieure du liber qui se convertit en bois. Il pense que cette couche pourrait bien être d'une nature différente de celle des autres couches du liber. Selon lui, lorsqu'au printemps le bois se sépare de l'écorce, il se forme dans le vide une substance particulière qui sert de moyen d'union entre l'ancienne couche de bois et la couche de liber qui doit former la nouvelle couche ligneuse. Duhamel a donné à cette substance le nom de *cambium*. L'opinion de ce physicien est, comme on le voit, à peu près calquée sur celle de Malpighy et de Grew.

M. Knight, dans ses récherches sur la formation de l'écorce [4], a exposé plusieurs expériences desquelles il a conclu que jamais le liber ne se change en aubier. Toutefois il ne décide point entre les théories diverses émises sur cet objet.

M. de Mirbel [5], adoptant avec peu de modifications les idées de Duhamel, émet d'abord cette opinion que le *cambium* est la véritable source de l'accroissement du végétal; que cette substance régénératrice, qui n'est contenue dans aucun vaisseau, transsude à travers les membranes, et se porte partout où de nouveaux développements s'opèrent; que c'est le *cambium* qui développe et nourrit le liber; que ce dernier étant composé de tissu cellulaire et de tubes, il se fait une séparation entre ces deux parties constituantes; le tissu cellulaire, en se portant vers l'extérieur, entraîne avec lui les couches les plus extérieures du liber, tandis que les couches intérieures de ce même liber se réunissent au bois.

M. Aubert du Petit-Thouars [6] reproduisant une théorie autrefois admise par Lahire, pense que chaque bourgeon, dès le moment qu'il se manifeste, obéit à deux mouvements opposés, l'un montant ou aérien, l'autre descendant ou terrestre. Du premier résultent les feuilles et le corps ligneux de la nouvelle branche; du second résulte la formation de nouvelles fibres ligneuses qui se prolongent en descendant entre le bois et l'écorce de la branche mère. C'est de l'assemblage et de la réunion de ces fibres descendantes que résulte la formation de la nouvelle couche d'aubier.

M. Kieser, professeur à l'Université

[1] *Anatomy of Plants.*

[2] Traité de la végétation.

[3] Physique des arbres.

[4] *Philosophical Transactions of the royal Society of London*, 1808.

[5] Traité d'Anatomie ou de Physiologie végétale; Éléments de Physiologie végétale et de Botanique, 1815.

[6] Essai sur la Végétation considérée dans le développement des bourgeons.

d'Iéna [1], admet que la séve monte dans le bois, et qu'après avoir subi dans les feuilles l'action d'une sorte de respiration, elle devient suc nourricier ou *cambium* : que dans cet état elle descend par l'écorce, et se dépose entre le corps ligneux et le liber. Il en résulte la formation d'une nouvelle couche d'aubier et d'une nouvelle couche de liber.

En 1816, M. de Mirbel revint sur l'opinion qu'il avait émise sur ce sujet dans ses ouvrages précédents. Dans une note insérée au Bulletin des sciences de la Société philomathique (1816, page 107), il reconnaît franchement qu'il avait jusqu'alors été dans l'erreur sur cette matière ; il déclare s'être assuré de la manière la plus positive que *jamais le liber ne devient bois*. « Il se forme, dit-il, entre le liber et le bois une couche qui est la continuation du bois et du liber. Cette couche régénératrice a reçu le nom de cambium. Le cambium n'est donc point une liqueur qui vienne d'un endroit ou d'un autre ; c'est un tissu très-jeune qui continue le tissu plus ancien. Il est nourri et développé par une séve très-élaborée. Le cambium se développe à deux époques de l'année entre le bois et l'écorce, au printemps et en automne. Son organisation paraît identique dans tous ses points ; cependant la partie qui touche à l'aubier se change insensiblement en bois, et celle qui touche au liber se change insensiblement en liber, cette transformation est perceptible à l'œil de l'observateur. »

Tous les auteurs dont je viens de passer les systèmes en revue s'accordent en cela que les arbres s'accroissent en diamètre par la formation de couches qui tirent leur origine d'une substance interposée au bois et à l'écorce. Mais aucun d'eux ne donne quelque chose de positif sur l'origine de cette substance ; ils n'offrent à cet égard que des hypothèses.

Ce point de la science est donc à peine effleuré malgré les travaux multipliés dont il a été l'objet ; j'ai tenté de remplir cette lacune de la science, mais je ne me flatte point d'y avoir complétement réussi. Il ne nous est permis d'aborder que la superficie des phénomènes, leur profondeur nous échappe et nous ne pourrons probablement jamais la sonder. Toutefois j'aurai ajouté des faits importants à ceux qui étaient déjà connus sur cette matière. Avant de les exposer il est nécessaire de jeter un coup d'œil rapide sur l'organisation générale des végétaux dicotylédons.

Un phénomène général frappe les yeux à l'inspection de l'intérieur de la tige d'un végétal dicotylédon, c'est l'analogie des principales parties dont elle est composée à l'intérieur et à l'extérieur. La moelle est analogue au parenchyme cortical, les couches ligneuses sont analogues aux couches de l'écorce ; l'aubier est analogue au liber ; en un mot l'écorce et le bois sont évidemment composés de parties analogues et disposées en sens inverse. Considérées suivant l'ordre de leur analogie, ces parties se suivent de dehors en dedans pour l'écorce et de dedans en dehors pour le bois ; cette analogie et en même temps cette disposition inverse des parties du bois et de l'écorce, a été notée par M. de Candolle, dans sa *Flore française* [2].

Ce premier aperçu, appuyé par les observations positives qui vont être exposées, m'a porté à considérer l'*écorce* et le *bois* comme deux *systèmes* différents par la position inverse de leurs parties, mais à cela près, analogues par leur composition. En conséquence, j'ai donné le nom de *système cortical* à l'assemblage de l'enveloppe tégumentaire, du parenchyme cortical, des couches corticales et du liber ; j'ai désigné par le nom de *système central*, l'assemblage de la moelle, des couches ligneuses du *duramen* ou *bois de cœur*, et des couches ligneuses d'aubier. Le système cortical possède, comme le système central, une partie fibreuse, disposée de même en réseaux longitudinaux. Ainsi le système cortical est spécialement composé de parenchyme et d'écorce fi-

[1] Mémoire sur l'Organisation des Plantes, qui a remporté le prix proposé par la Société theylérienne en 1812.

[2] Principes de Botanique, chap. 1, art. 2.

breuse; le système central est spécialement composé de moelle et de ligneux. Chacun de ces systèmes possède ses rayons médullaires particuliers. On sent facilement que ces expressions: *système cortical*, *système central*, s'appliquent aux végétaux herbacés comme aux végétaux ligneux; par leur généralité, elles ont un grand avantage sur celles qui étaient employées précédemment et qui n'étaient applicables qu'aux seuls végétaux ligneux.

Le parenchyme cortical et la moelle sont non-seulement analogues par l'ordre inverse de leur position; ils le sont aussi par l'ordre inverse du décroissement de grandeur de leurs cellules composantes. Je suis le premier qui ai observé cette disposition organique très-importante. Dans la moelle, les cellules, grandes au centre, vont en décroissant de grandeur vers la circonférence; dans le parenchyme cortical, au contraire, les cellules, petites à la partie intérieure, vont en augmentant de grandeur vers la circonférence. Cette dernière disposition est surtout remarquable dans les racines; elle souffre quelques exceptions dans les tiges, j'en indiquerai plus bas les causes. Ainsi le parenchyme cortical et la moelle réunissent une analogie évidente de nature à un ordre inverse de position et d'organisation intérieures. L'observation va prouver actuellement que ces deux parties peuvent se métamorphoser l'une dans l'autre, ce qui achèvera de démontrer leur extrême analogie.

Les fruits, à leur maturité, se détachent de l'arbre par la rupture d'une articulation. La plaie se recouvre immédiatement d'épiderme au-dessous duquel se développe de l'écorce. J'ai voulu voir si, en coupant la branche un peu au-dessous de cette cicatrice, la plaie se cicatrisait de même. J'ai choisi pour cette observation un poirier de beurré blanc ou Saint-Michel (pyrus fructu magno, oblongo, citrino, autumnali; *Duhamel, Traité des arbres fruitiers*). Le fruit de cet arbre possède un gros pédoncule; et par conséquent il laisse, en se détachant, une large plaie à la branche qu'il termine: cette branche dans laquelle le tissu cellulaire abonde ne possède qu'un rang circulaire de filets ligneux, interposés à la moelle et à l'écorce. Au printemps, j'ai coupé l'extrémité de plusieurs de ces branches, en enlevant la cicatrice formée par la chute du fruit. Peu de temps après, j'ai observé que toutes s'étaient desséchées dans une longueur de quelques millimètres au-dessous de la section. Au bout de trois mois environ, la partie desséchée tomba d'elle-même, et laissa à découvert une plaie recouverte d'épiderme, une plaie parfaitement cicatrisée. J'examinai l'intérieur de la branche dans l'endroit de la cicatrice, et je vis que cette dernière n'était point formée par un envahissement de l'écorce, comme cela a lieu ordinairement, mais bien par la production d'un épiderme qui recouvrait immédiatement une coupe transversale de la tige; les filets ligneux rompus montraient leurs extrémités qui perçaient circulairement cet épiderme. Ainsi la moelle se trouvait à nu sous l'épiderme au centre de la cicatrice. Comme j'avais un certain nombre de branches en expérience, je continuai de les observer, et je vis, l'année suivante, que la couche de moelle située sous l'épiderme s'était métamorphosée en écorce, ou plutôt en parenchyme cortical, et qu'il s'était établi une séparation entre cette écorce nouvelle et le reste de la moelle, au moyen de la production d'une couche ligneuse. Quelquefois même il arriva qu'une couche fort profonde de moelle se métamorphosa en parenchyme cortical; alors on voyait l'écorce enfoncée comme un prolongement dans l'intérieur de la branche.

Cette observation prouve que le parenchyme cortical et la moelle sont analogues par leur nature. Je les désignerai donc dorénavant tous les deux par le nom de *médulle*; l'une sera la *médulle corticale*, l'autre la *médulle centrale*.

Ces deux médulles paraissent être les parties fondamentales et primordiales de l'organisation végétale. Elles existent pres-

que seules dans les tiges naissantes. C'est par l'observation de leur accroissement que nous devons commencer l'étude générale de l'accroissement des végétaux.

Si l'on examine une tige naissante et herbacée de végétal dicotylédon, on voit qu'elle offre une médulle centrale et une médulle corticale composées dans le principe de très-petites cellules. Bientôt le volume de ces cellules augmente, ce qui accroît le volume général de ces deux médulles. Leur accroissement reconnaît en outre pour cause une addition de nouvelles molécules cellulaires. Je vais étudier successivement ces divers phénomènes, d'abord dans la médulle centrale, ensuite dans la médulle corticale.

La médulle centrale ou moelle est ordinairement très-supérieure en masse à la médulle corticale dans les tiges. Elle est composée de cellules qui sont globuleuses dans le principe, et qui en se développant deviennent polyédriques par l'effet de la pression qu'elles exercent les unes sur les autres. Pour suivre son accroissement, il faut examiner au microscope des tranches minces enlevées transversalement et longitudinalement, sur des tiges herbacées. J'ai soumis au microscope une tranche mince et transparente enlevée transversalement sur l'extrémité d'une jeune tige de sureau (*sambucus nigra*). J'ai vu que la moelle était composée de cellules fort petites, et j'ai pu compter le nombre des cellules qui étaient contenues dans un de ses diamètres. Une tranche mince enlevée transversalement sur une partie un peu inférieure de la même tige, montre un accroissement du diamètre de la moelle et en même temps un accroissement proportionnel du volume des cellules, car elles sont dans le même nombre pour former un diamètre de la moelle. Plus bas on trouve encore une augmentation du diamètre de la moelle et toujours une augmentation proportionnelle du diamètre des cellules. Ainsi il est certain que c'est l'augmentation du diamètre des cellules médullaires qui est la cause immédiate et unique de l'accroissement du diamètre de la moelle du sureau.

Ce développement en grosseur des cellules paraît être le résultat de leur implétion progressive par l'effet de l'endosmose. Elles se distendent sous l'influence du liquide, qui les dilate progressivement, comme des bulles de savon se dilatent sous l'influence de l'air intérieur qui les distend. Les parois des cellules étant composées elles-mêmes de molécules cellulaires, ces dernières éprouvent aussi un développement particulier qui seconde la tendance à la dilatation que manifeste la cellule dont elles composent les parois. Les cellules qui composent la moelle, en prenant ainsi une augmentation de volume, conservent, d'une manière plus ou moins sensible, leur décroissement de grandeur du centre à la circonférence. Ceci prouve que, dans cet accroissement du diamètre de la moelle, il n'intervient aucune intercalation de cellules nouvelles, car on verrait alors de petites cellules mêlées aux grandes. Le décroissement uniforme qui continue d'avoir lieu dans la grandeur des cellules prouve donc que c'est au seul développement des cellules medullaires formées primitivement dans le bourgeon qu'est dû, chez le sureau, l'accroissement du diamètre de la moelle. Il est impossible de savoir, par une observation directe, comment s'opère la formation primitive des cellules dans le bourgeon; mais on peut parvenir, jusqu'à un certain point, à la connaissance de ce phénomène par l'observation de l'accroissement que subit la moelle par addition de nouvelles molécules cellulaires. En effet beaucoup de plantes herbacées offrent deux modes différents d'accroissement dans le diamètre de leur médulle centrale; cet accroissement s'opère à la fois par l'augmentation de volume des cellules et par l'addition de petites cellules nouvelles à la circonférence de la moelle. Cette addition a lieu toutes les fois que la médulle centrale peut se trouver en contact avec la médulle corticale. C'est ce qui a lieu chez les plantes herbacées dont la médulle centrale n'est enveloppée que par

une couche ligneuse très-mince et composée de faisceaux isolés qui laissent entre eux des intervalles par lesquels la médulle centrale se trouve en contact avec la médulle corticale. Dans ces interstices qui sont nombreux, on observe un décroissement inverse des cellules des deux médulles en contact, et ce décroissement, qui a lieu des deux côtés, finit par offrir à l'œil armé du microscope de simples globules cellulaires. C'est évidemment là que s'opère l'addition des cellules rudimentaires et nouvelles qui, par leur augmentation de volume, deviendront ensuite de véritables cellules comme celles qui les ont précédées dans l'ordre de l'apparition et du développement. Ce phénomène est facile à observer chez beaucoup de plantes herbacées. Ainsi, chez la laitue (*lactuca sativa*), par exemple, la couche ligneuse, fort mince, est composée de faisceaux isolés, et c'est dans leurs intervalles qu'on voit la médulle centrale se prolonger, arriver jusqu'au contact de la médulle corticale, et là s'accroître par l'addition de nouvelles cellules rudimentaires. Le même phénomène a lieu chez le tournesol (*helianthus annuus*) et chez beaucoup d'autres plantes herbacées. Cette observation nous apprend comment les cellules des médulles ont été primitivement formées dans le bourgeon. Là les deux médulles se trouvaient en contact par toute l'étendue de leurs surfaces en regard, puisqu'il n'y avait point encore de couche ligneuse, et les cellules étaient produites par l'addition successive de nouvelles cellules rudimentaires aux deux surfaces en contact des deux médulles. C'est de là que provient le décroissement inverse que présentent les deux médulles dans le volume de leurs cellules. Ce sont les cellules les plus jeunes et par conséquent les moins développées qui sont voisines du lieu de l'origine des cellules. Il résulte de là que les plantes herbacées dicotylédones conservent, dans leur état adulte, une disposition qui n'existe qu'à l'époque de l'*évolution récente* ou de l'*enfance* de la tige chez les végétaux ligneux. Il suffit, par conséquent, que l'état d'*évolution récente* ou d'*enfance* soit prolongé, chez un végétal dicotylédon, pour donner lieu chez lui à l'accroissement du diamètre de la moelle par addition de nouvelles cellules. La végétation du chou (*brassica oleracea*) offre une confirmation bien remarquable de cette proposition. La végétation ascendante du chou devient extrêmement lente à une certaine époque; son extrémité végétante reste alors pendant fort longtemps à l'état d'*évolution récente* ou d'*enfance*; la *pomme du chou* est en effet un énorme bourgeon presque stationnaire. Alors la médulle centrale prend un accroissement prodigieux de diamètre et tel, que les tiges arborescentes de ce végétal ressemblent alors à des massues lorsqu'elles sont dépouillées de leurs feuilles. L'extrémité supérieure renflée n'offre dans son système central qu'une couche fort mince de tissu ligneux composée de faisceaux isolés, lesquels permettent, par leurs interstices, le contact immédiat de la médulle corticale et de la médulle centrale, disposition de laquelle résulte l'addition continuelle de nouvelles cellules rudimentaires à la circonférence de la médulle centrale, et par suite l'augmentation continuelle de son diamètre. Les plantes herbacées chez lesquelles la couche ligneuse qui enveloppe la moelle devient promptement compacte et épaisse, n'offrent point cet accroissement continuel du diamètre de la moelle par addition de nouvelles cellules à sa circonférence. Lorsque l'interposition de cette couche ligneuse a fait cesser le contact immédiat de la médulle corticale et de la médulle centrale qui est restée enfermée au-dessous de cette couche ligneuse, la médulle centrale ne peut plus avoir d'augmentation subséquente de diamètre qu'au moyen du développement en grosseur de ses cellules préexistantes; encore cette augmentation de diamètre ne peut-elle avoir lieu que lorsque l'étui médullaire et la couche mince de tissu ligneux qui l'accompagne prennent spontanément une augmentation d'*ampleur*; c'est, par exemple, ce qui a lieu chez le sureau. Mais lorsque cette augmentation spontanée de l'ampleur de l'étui médullaire

n'a point lieu, tout accroissement de diamètre est interdit à la moelle; elle reste avec les dimensions qu'elle a prises dans le bourgeon en évolution; c'est ce qui a lieu dans la plupart des arbres dicotylédons. Les plantes herbacées dicotylédones augmentent toutes au contraire l'ampleur de leur étui médullaire et celle de la couche de tissu ligneux imparfait qui recouvre cet étui, en sorte que leur médulle centrale peut s'accroître considérablement en diamètre. Si ce dernier accroissement ne peut avoir lieu par le fait de l'interruption de la contiguïté des deux médulles corticale et centrale, cette dernière cessant de s'accroître pendant que l'étui médullaire prend une ampleur plus considérable, la tige devient creuse dans son centre ou *fistuleuse*. Ainsi ce n'est que dans l'*état herbacé*, qui est l'état d'*enfance végétale*, que les végétaux dicotylédons peuvent augmenter le diamètre de leur moelle ou de leur médulle centrale. A cet égard, les plantes dicotylédones herbacées, dans leur *état adulte*, conservent ce qui est l'*état d'enfance* des arbres dicotylédons.

Ici se présente naturellement la question de l'origine des cellules nouvelles; Tréviranus et Kieser pensent qu'elles proviennent de la précipitation des globules qui flottent, isolés, dans la séve nutritive, et que ces globules, qui sont considérés ici comme des cellules rudimentaires à l'état d'excessive petitesse, se développent et deviennent de véritables cellules après leur fixation aux cellules précédemment développées. M. Raspail est arrivé au même résultat par ses recherches sur la fécule [1]; il a fait voir que chaque grain de cette substance est une petite cellule contenant dans son intérieur une substance organique; à la place qui est occupée par la fécule, dans le grain parvenu à sa maturité, se trouve originairement un liquide organique très-abondant en globules qui s'accroissent graduellement en grosseur. M. Raspail pense que ce sont ces globules qui forment les grains de fécule. Ainsi se trouverait confirmée la théorie de Tréviranus, qui admet hypothétiquement que les cellules des végétaux sont libres et isolées dans le principe, et qu'elles deviennent ensuite adhérentes les unes aux autres. Suivant d'autres naturalistes, les cellules naissent les unes des autres par développement et extension de tissu. Suivant M. Turpin, elles naissent ainsi dans l'intérieur des grandes cellules d'où elles s'échapperaient par la rupture de la grande cellule-mère et en rompant le pédicule par lequel chacune d'elles lui était primitivement uni. Suivant M. de Mirbel [2], les nouvelles cellules naîtraient de même par développement et extension de tissu, mais sur la partie extérieure des anciennes cellules, desquelles elles seraient susceptibles ensuite de se détacher, en sorte que leur isolement, que démontre l'observation, ne serait point primitif. Je ne me prononcerai point entre les deux manières d'envisager l'origine des cellules, par précipitation de globule ou par extension de tissu. Quant à l'apparition des cellules nouvelles, soit dans l'intérieur des cellules anciennes, comme l'affirme M. Turpin, soit à l'extérieur de ces mêmes cellules anciennes, comme le dit M. de Mirbel, ce sont deux faits que l'observation démontre et qui ne s'excluent point l'un l'autre; ils trouvent chacun leur application dans des circonstances déterminées, et ils ne doivent ni l'un ni l'autre être généralisés. Pour en revenir à l'*apparition* des nouvelles cellules de la moelle ou médulle centrale des végétaux herbacés dicotylédons, il est certain que cette *apparition* a lieu en dehors des cellules qui les précèdent immédiatement dans l'ordre de la formation successive de dedans en dehors; soit qu'elles proviennent de la précipita-

[1] Sur le développement de la fécule dans les graines des céréales, et sur l'analyse microscopique de la fécule.

[2] Observation sur le *marchantia polymorpha*, dans le tome 13 des Mémoires de l'Académie des Sciences de l'Institut.

tion des globules contenus dans la séve élaborée qui coule abondamment entre les organes cellulaires nouveaux et encore peu adhérents, dont la formation ou l'apparition sont récentes, soit qu'elles proviennent du développement et de l'extension du tissu des cellules plus anciennes. Dans l'une et dans l'autre manière de voir, c'est à la présence d'une abondante séve élaborée à l'endroit où se trouvent contigus les deux systèmes cortical et central, qu'est due la production des nouvelles cellules ou, plus généralement, des nouveaux organes utriculaires qui accroissent de part et d'autre ces deux systèmes. Venons actuellement à l'accroissement du tissu ligneux, ou du bois.

Le bois est ordinairement composé d'une partie dure intérieure ou *duramen* et d'une partie plus molle extérieure ou *aubier*. Il est bien évident que c'est par une transmutation de l'*aubier* en *duramen* que ce dernier acquiert un diamètre de plus en plus considérable.

On a cru longtemps que c'était de même par une transmutation de l'écorce en aubier que s'opérait l'accroissement du bois par sa partie extérieure. C'était l'opinion de Malpighy, de Grew et de Duhamel. M. Knight est le premier, comme je l'ai dit plus haut, qui ait reconnu que la transmutation du liber en aubier n'a point lieu. M. de Mirbel a depuis reconnu la même vérité. « J'étais, dit-il [1], trop « fortement préoccupé de l'opinion con« traire pour y renoncer sur de légères « preuves ; je suis donc maintenant très« convaincu que jamais le liber ne de« vient bois. » Toutefois M. de Mirbel ne rapporte point les preuves qui l'ont déterminé à adopter cette nouvelle opinion. Il se contente de dire que le *cambium* forme une couche régénératrice qui fournit en même temps un nouveau feuillet de liber et un nouveau feuillet de bois. « La couche régénératrice, dit-il, établit « la liaison entre l'ancien liber et l'ancien « bois ; et si, lors de la formation du *cam« bium,* l'écorce paraît tout à fait déta« chée du corps ligneux, ce n'est pas, « je pense, qu'il en soit réellement ainsi ; « mais c'est que les nouveaux linéaments « sont si faibles que le moindre effort suf« fit pour les rompre. » Pour moi, il me paraît probable que le système cortical est complétement séparé du système central par l'interposition de la séve élaborée, ou du cambium, qui descend du sommet des tiges vers les racines. C'est cette séve élaborée qui fournit à l'accroissement simultané du système central et du système cortical. On peut voir avec facilité cet accroissement simultané dans quelques racines vivantes composées de couches concentriques ; telle est, par exemple, la racine du *dipsacus fullonum*. Cette racine doit être observée au printemps avant le développement de la tige. En la coupant par tranches transversales et minces, on voit, à l'endroit de la jonction des deux systèmes, une couche transparente, qui est la partie nouvellement formée. Si on enlève le système cortical, on enlève avec lui la moitié de cette couche transparente ; l'autre moitié reste adhérente au système central. Cette observation est des plus concluantes : elle prouve que les deux systèmes cortical et central s'accroissent simultanément, et que ce n'est point en s'appropriant une partie du système cortical que s'accroît la partie ligneuse du système central.

Tant que la végétation n'éprouve point d'interruption, le nouveau ligneux, ou l'aubier, développé en dehors du système central, continue de s'accroître en épaisseur. La séve nourricière descendante fournit les matériaux de cet accroissement. Lorsque la végétation est suspendue par l'*hibernation,* tout accroissement végétal cesse ; il n'y a plus de séve épanchée à la jonction des deux systèmes. Lorsque arrive le retour de la chaleur au printemps, la séve nourricière, ou le cambium, s'épanche de nouveau, mais elle ne sert plus alors à nourrir les couches préexistantes d'aubier ; ces couches ne doivent plus désormais s'accroître en épaisseur ; il apparaît alors une couche nouvelle

[1] Bulletin des Sciences, par la Société Philomathique, 1816, p. 107.

d'aubier, qui, d'abord fort mince, s'accroît progressivement pendant le cours de la belle saison. Les deux phénomènes de l'accroissement particulier de la dernière couche d'aubier et de la formation annuelle d'une couche nouvelle d'aubier ont toujours été confondus, et cependant ils sont essentiellement différents. L'accroissement particulier de la dernière couche d'aubier s'opère au moyen de l'addition de parties similaires qui forment un tout homogène; la formation de la couche nouvelle d'aubier est au contraire marquée par la production d'un tissu particulier qui la sépare de la couche précédente. Ce tissu est fort mince et différent par sa nature du tissu ligneux dont l'aubier est en majeure partie composé. Dans les végétaux ligneux, le tissu intermédiaire aux couches d'aubier paraît essentiellement composé de gros tubes aérifères. Ce n'est que chez le *rhus typhinum* que j'ai pu m'assurer d'une manière positive de la nature de ce tissu. Une branche de ce végétal, âgée de quelques années, étant coupée transversalement, offre dans son centre une moelle composée d'un tissu cellulaire de couleur rousse. Les couches successives de bois sont séparées les unes des autres par des couches minces de ce même tissu cellulaire roussâtre qui contient de grands tubes longitudinaux. Ce fait prouve que ce sont des couches de moelle ou de médulle centrale, qui séparent les unes des autres les couches ligneuses. Les vaisseaux longitudinaux qu'on y observe sont les analogues des vaissseaux de l'étui médullaire. Je me suis assuré de ce fait par l'observation de l'origine des bourgeons adventifs. On sait que la moelle des bourgeons qui naissent dans les aisselles des feuilles correspond toujours à la moelle de la branche qui les porte; et que les vaisseaux de leur étui médullaire tirent leur origine de l'étui médullaire de cette même branche. Or, j'ai observé que la moelle des bourgeons adventifs tire toujours son origine de la couche médullaire placée au-dessous de la dernière couche d'aubier, et qui la sépare de la couche d'aubier plus ancienne; et que les vaisseaux de l'étui médullaire de ces bourgeons, tirent leur origine des vaisseaux que contient cette couche médullaire. L'ensemble de ces observations ne permet point de douter que les couches ligneuses ne soient séparées les unes des autres par des couches de médulle centrale, accompagnées chacune par un nouvel étui médullaire. Ainsi ce n'est point une simple couche de bois qui se produit ici en dehors du système central, mais il y a véritablement reproduction complète de toutes les parties dont se compose ce système, c'est-à-dire de la médulle centrale, de l'étui médullaire et du tissu d'aubier. C'est un nouveau système central tout entier qui enveloppe l'ancien, lequel ordinairement a cessé d'être apte à remplir ses fonctions. C'est à l'aide de cette régénération qui a lieu chaque année que l'arbre dicotylédon prolonge son existence pendant des siècles, tandis que la plante dicotylédone herbacée, qui est privée de la faculté de régénérer son système central, vieillit dans la première année et cesse alors nécessairement de vivre. Aussi la tige de la plante herbacée ne possède-t-elle jamais qu'une seule couche ligneuse molle et imparfaite; elle est privée de la faculté de produire des couches nouvelles séparées des couches anciennes par une couche de médulle centrale; elle reste encore sous ce point de vue à l'état d'enfance végétale, qui pour l'arbre n'est qu'un état primitif et transitoire.

Souvent il arrive que cette faculté de régénérer le système central qui est refusée à la tige est accordée à la racine. Alors la tige seule meurt annuellement et la racine est *vivace* et reproduit chaque année des tiges nouvelles et de durée annuelle. Si quelques végétaux en apparence herbacés conservent leurs tiges pendant plusieurs années, c'est que ces végétaux reproduisent leur système central; ils offrent dans leurs tiges de *véritables couches ligneuses* séparées par des couches de médulle. Tel est par exemple le chou (*brassica oleracea*).

Dans les tiges naissantes des végétaux dicotylédons, le tissu ligneux se montre

d'abord par faisceaux isolés qui entourent la médulle centrale. Pour observer leur accroissement prenons, par exemple, une tige naissante et encore herbacée de clématite (*clematis vitalba*). La coupe transversale de cette tige offre une aire qui a six angles saillants. Cette coupe transversale doit être faite sur le dernier entre-nœud ou mérithalle de la tige naissante, mérithalle qui n'a encore que deux lignes environ de longueur et qui est fort grêle. Une tranche mince et transparente étant enlevée et soumise au microscope, on distingue (planche 2, figure 6) le système cortical *b* qui est nettement séparé par son organisation du système central. Ce dernier est composé de la médulle centrale *a* et de six faisceaux isolés de tissu ligneux *c* qui laissent entre eux des interstices que remplit la médulle centrale par six prolongements *o* qui sont des rayons médullaires.

On voit dans le milieu de chacun de ces rayons les rudiments de six nouveaux faisceaux de tissu ligneux *i* qui, plus jeunes que les faisceaux *c*, sont nés dans l'épaisseur des six premiers rayons médullaires. A la partie la plus intérieure de chacun de ces faisceaux de tissu ligneux sont situés les vaisseaux de l'étui médullaire *d*. Les petits faisceaux de tissu ligneux *i* séparés des grands faisceaux *c* qui les avoisinent de chaque côté par des rayons médullaires encore fort courts et qui de cette manière se trouvent au nombre total de douze. Ces nouveaux faisceaux, d'abord fort petits, ne tardent point à s'accroître, surtout de dedans en dehors; ils repoussent les angles rentrants vis-à-vis desquels ils sont situés. La figure 7 représente la coupe transversale de la tige à ce degré de développement : les faisceaux *i*, intercalés aux faisceaux *c*, ont par leur accroissement repoussé en dehors le système cortical *b*. Bientôt les faisceaux *i* atteignent, à peu de chose près, la longueur transversale des faisceaux *c*, comme on le voit dans la figure 8, et la tige cesse ainsi d'offrir des angles alternativement saillants et rentrants : ces derniers sont complétement effacés par l'accroissement transversal des faisceaux *i*, et il en résulte que la coupe transversale de la tige, au lieu d'une aire dodécagone qu'elle offrait dans le principe, n'offre plus qu'une aire hexagone. L'accroissement transversal des faisceaux ligneux a eu pour effet l'allongement des douze rayons médullaires dont nous venons de voir l'origine. Ces douze rayons aboutissent immédiatement à la moelle ou médulle centrale *a*, dont ils sont des prolongements. Ainsi le corps ligneux du système central naît par faisceaux isolés dont la coupe transversale offre une aire cunéiforme vers le centre de la tige et arrondie vers son extérieur. Ces faisceaux de fibres ligneux sont séparés les uns des autres par de la médulle centrale qui plus tard, pressée et comprimée par le développement des faisceaux ligneux, forme les rayons médullaires. Alors le corps ligneux forme un étui autour de la moelle et il ne s'accroît plus que par sa surface extérieure.

L'accroissement en diamètre du système cortical offre des phénomènes exactement semblables à ceux que présente le système central; mais ces phénomènes s'opèrent en sens inverses, ce qui provient de la position inverse de son corps médullaire ou médulle corticale et de son corps fibreux. La masse de la médulle corticale est en dehors immédiatement sous l'enveloppe tégumentaire, le corps fibreux cortical est divisé en feuillets minces séparés les uns des autres par des couches de médulle corticale; on donne aux plus intérieurs de ces feuillets du corps fibreux le nom de liber; ce sont les couches corticales fibreuses les plus nouvelles comme l'aubier offre les couches ligneuses les plus nouvelles. Ainsi chaque couche corticale offre un système complet, dont une couche de médulle corticale occupe l'extérieur, comme chaque couche nouvelle d'aubier est un système central complet, dont une couche de médulle centrale occupe la partie intérieure qui est dirigée vers le centre du végétal. Ce que j'ai dit plus haut de la régénération annuelle du système central des arbres dicotylédons, s'applique ici de même à la régénération annuelle de leur système

cortical, en sorte qu'il demeure prouvé que la tige tout entière des arbres dicotylédons se renouvelle annuellement. Voyons actuellement comment s'opère l'accroissement en diamètre du système cortical.

La médulle corticale située immédiatement sous l'enveloppe tégumentaire est ordinairement fort peu volumineuse dans les tiges, mais elle a toujours un volume relatif très-considérable dans les jeunes racines; elle semble même composer chez elles presque toute l'écorce qui l'emporte toujours en volume sur le système central. Cette médulle corticale des jeunes racines est généralement composée de cellules ou d'utricules décroissantes de grandeur de dehors en dedans. Cependant les cellules médullaires qui sont en dehors sont plus petites que celles qui sont plus profondes; en sorte qu'on peut considérer dans la médulle corticale deux ordres dé décroissement des cellules, l'un du dehors vers le dedans, l'autre du dedans vers le dehors.

En général la petitesse relative des cellules qui vont en diminuant graduellement de grosseur, indique la diminution graduelle de leur âge; ce sont les plus petites qui sont les plus jeunes, cependant cette règle générale n'est point applicable à la petitesse des cellules de médulle corticale qui sont situées immédiatement sous l'enveloppe tégumentaire. Ces cellules sont fort petites il est vrai, quand on les regarde par leur coupe transversale, mais elles sont allongées dans le sens vertical, en sorte qu'on peut penser que la petitesse de leur diamètre horizontal serait due à un défaut de développement occasionné par des causes extérieures, et notamment par l'action desséchante de l'atmosphère. Ce dernier effet est à peine sensible dans les racines, parce qu'elles habitent un milieu humide; mais il est très-fréquent dans les tiges. Le corps fibreux de l'écorce offre toujours les plus grandes cellules et les tubes fibreux les plus gros vers le dehors; ces organes décroissent de grandeur en s'approchant du système central.

Les couches fibreuses du système cortical sont très-faciles à voir chez la plupart des végétaux dicotylédons; ce sont elles qui se séparent si facilement les unes des autres dans l'écorce du *bois à dentelle* (*lagetta lintearia*); elles sont composées de *tubes fibreux* comme le sont les couches ligneuses du système central, et elles sont comme elles disposées en réseaux; mais on ne voit point la couche de médulle corticale qui doit les séparer, elle est rudimentaire : cette disposition se voit très-bien dans l'écorce des troncs âgés de l'orme (*ulmus campestris*); les couches fibreuses du système cortical y sont épaisses, on y distingue très-bien les rayons médullaires corticaux et les couches de médulle corticale qui séparent les unes des autres les couches fibreuses. L'accroissement et la production successive de ces couches corticales suivent des lois semblables à celles qui viennent d'être exposées pour le système central; c'est par l'accroissement *en ampleur* de ces couches corticales qu'elles livrent l'espace pour l'accroissement du système central. M. de Mirbel est le premier qui ait aperçu ce phénomène. On pensait avant lui que l'accroissement du bois distendait l'écorce. « Le fait est, dit-il [1], que le *cambium* ne repousse point l'écorce; à l'époque où il se produit, l'écorce elle-même tend à s'élargir; les réseaux corticaux et son tissu cellulaire croissent; il en résulte qu'elle devient plus ample dans tous ses points vivants, il se développe à la fois du tissu cellulaire régulier et du tissu cellulaire allongé. La partie la plus extérieure de l'écorce, la seule qui soit désorganisée par le contact de l'air et de la lumière, et qui par conséquent ne puisse plus prendre d'accroissement, se fend, se déchire et se détruit. Elle seule est soumise à l'action d'une force mécanique, le reste se comporte d'après les lois de l'organisation... L'accroissement du liber est un phénomène de toute évidence. Dans le tilleul, les mailles du réseau s'élargissent, mais ne se multiplient point, et le tissu cellulaire renfermé dans les mailles devient plus abondant. Dans le

[1] Bulletin des Sciences de la Société Philomathique, 1816.

pommier, les mailles du réseau se multiplient et se remplissent d'un nouveau tissu cellulaire, etc. » Ainsi, la découverte de l'existence de l'acroissement de l'écorce, *en ampleur*, appartient incontestablement à M. de Mirbel; mais il n'a point déterminé le mécanisme au moyen duquel s'opère cet accroissement, il a vu seulement que les mailles du réseau fibreux de l'écorce s'élargissent ou se multiplient, et que le tissu médullaire cortical contenu dans ces mailles, subit de l'augmentation. Ces observations sont précieuses, mais elles ne complètent pas l'explication du phénomène. Je l'ai trouvée cette explication, dans l'observation de la racine de la vipérine (*echium vulgare*); cette racine coupée transversalement (pl. 2. fig. 9) offre un système central *o* très-distinct, par son aspect, du système cortical qui est très-volumineux. Ce dernier offre extérieurement une couche de médulle corticale située sous l'enveloppe tégumentaire et qui envoie des prolongements ou des rayons médullaires corticaux entre des corps qui présentent l'apparence de festons. Ces corps, qui vont en diminuant de largeur vers le système central, offrent alternativement des lames fibreuses et des lames médullaires : les premières sont composées de cellules allongées et articulées en séries rectilignes dans le sens longitudinal ; les secondes sont composées de cellules plus grosses et disposées en séries rectilignes dans le sens transversal. Chaque feston est formé de lames réunies par leur sommet, et il donne naissance, dans son milieu, aux lames nouvelles. On voit en *a* un feston qui n'offre qu'une seule paire de lames fibreuses réunies et formant un arc ou une anse au sommet du feston, et offrant dans son milieu une lame de tissu médullaire. On voit en *b* un autre feston composé de deux anses fibreuses séparées l'une de l'autre par une lame mince de tissu médullaire. L'anse fibreuse intérieure offre dans son milieu une autre lame de ce même tissu médullaire. On voit en *c* un feston semblable, mais dont le développement est plus avancé; l'anse fibreuse intérieure a grossi, et son augmentation de volume a rompu, par son sommet, l'anse fibreuse extérieure dont les côtés séparés sont rejetés à droite et à gauche, comme on le voit en *d*.

Tel est le mode d'accroissement *en ampleur* de l'écorce dans la racine de vipérine; son accroissement *en épaisseur* se fait, comme dans l'écorce de toutes les plantes dicotylédones, par production de couches nouvelles auprès du système central. Mais ces couches annuelles ne sont point distinctes les unes des autres; elles sont confondues en une seule couche, qui n'offre point de séparations apparentes.

Les phénomènes de reproduction qui suivent souvent la décortication partielle d'un arbre ne sont par très-faciles à expliquer. Ordinairement la partie du système central mise à nu se dessèche et meurt; cependant il arrive souvent qu'après la décortication, il se forme une nouvelle écorce : doit-on attribuer ce phénomène à ce que la décortication n'a pas été complète, et à ce qu'il serait resté une couche imperceptible du système cortical adhérente au système central? Je ne le pense pas. Il me paraît probable que dans cette circonstance le système cortical est reproduit par une métamorphose de la médulle centrale en médulle corticale. J'ai noté plus haut cette métamorphose, qui arrive lors de la section transversale des branches fructifères du poirier. Le système central se reproduit aussi quelquefois à l'intérieur de l'écorce détachée du bois, ainsi que l'ont observé Duhamel [1] et Dupetit-Thouars [2]. Je pense que, dans cette circonstance, il y a métamorphose de la médulle corticale en médulle centrale : le fait suivant semble le prouver. J'ai vu un tilleul décortiqué partiellement, reproduire une écorce à la surface du bois mis à nu, et en même temps reproduire une couche de bois à la surface intérieure de l'écorce que j'avais maintenue éloignée du tronc, sans inter-

[1] Physique des Arbres.
[2] Mémoire sur la réformation de l'Épiderme dans les Arbres.

rompre sa communication avec le reste de l'écorce au-dessus et au-dessous de l'endroit de la décortication. La couche d'écorce formée à la surface du bois mourut peu de temps après avec le bois lui-même. La couche de bois formée à l'intérieur de l'écorce vécut et se développa; elle forma seule la partie ligneuse vivante de cette partie du tronc [1]. Il est évident que cette double reproduction n'a pu avoir lieu de part et d'autre que par métamorphose.

Pour compléter l'étude de l'accroissement des arbres en diamètre, il reste à déterminer le mode de la formation et de l'accroissement du *duramen*. Il est généralement reconnu que c'est à une transmutation particulière de l'aubier, c'est-à-dire à l'endurcissement de la substance contenue dans ses tubes fibreux qu'est due la formation du *duramen*. Il est fort difficile de déterminer quelle est la cause de la solidification et en même temps du changement de couleur de la substance que contiennent les tubes fibreux : c'est un phénomène de chimie organique dont le mécanisme n'est pas encore connu.

Le duramen n'existe point chez tous les arbres; dans leur jeunesse ils en sont tous dépourvus; et il en est beaucoup qui, même dans leur âge le plus avancé, ne possèdent jamais dans leur partie centrale ce bois coloré plus dur que l'aubier. Ainsi, les arbres dont le bois est blanc et léger, tels que les peupliers, ne possèdent jamais de duramen; leur bois est partout homogène; il en est de même de certains arbres, dont le bois est plus ou moins dur; tels sont l'érable (*acer campestre*), le hètre (*fagus sylvatica*), le charme (*carpinus betulus*), etc. Chez ces arbres, le bois du centre est parfaitement semblable à celui de la circonférence, tant pour la dureté que pour la couleur; il n'y a chez eux aucune distinction du bois en duramen et en aubier, et cependant leur bois a beaucoup de solidité; celui du charme, spécialement, est très-dur et très-compacte. L'existence du duramen n'est donc point nécessaire pour l'arbre; c'est pour lui une sorte d'état sénile, lequel met obstacle à l'exercice des fonctions physiologiques du tissu ligneux.

L'aubier se change en duramen avec plus ou moins de promptitude, suivant l'espèce des arbres et, dans la même espèce d'arbre, suivant la nature du terrain dans lequel il végète. Ainsi, par exemple, chez le *rhus typhinum*, la couche d'aubier, examinée dans l'hiver qui suit l'année de sa formation, se trouve déjà changée à moitié en duramen coloré, et on voit que le progrès de la coloration est graduel. Chez un pommier de 46 ans, au contraire, j'ai compté 36 couches d'aubier et 10 couches seulement de duramen coloré en rouge. On sait vulgairement que les chênes qui croissent dans des terrains humides, ont beaucoup d'aubier, tandis que les chênes qui croissent sur des pentes arides, en ont fort peu. J'ai observé que la transmutation de l'aubier en duramen ne suit point toujours exactement l'ordre des couches dans le bois du chêne. La ligne qui limite le duramen s'avance d'une manière assez irrégulière dans l'aubier, sans offrir aucun rapport fixe avec l'ordre de la production des couches de ce dernier. Souvent même j'ai observé qu'il reste des portions de couches d'aubier ou de duramen imparfait et blanchâtre, au milieu du duramen parfait. Ce phénomène provient de ce que la partie la plus extérieure de chaque couche d'aubier, c'est-à-dire celle qui a été formée pendant l'été, est moins apte à se transformer en duramen que ne l'est la partie la plus intérieure de cette même couche, c'est-à-dire celle qui a été formée pendant le printemps. Aussi la partie extérieure de la couche d'aubier conserve-t-elle quelquefois ses qualités d'aubier,

[1] Depuis que j'ai publié cette observation, il en a paru une autre exactement semblable, faite de même sur un tilleul, et contenue dans une lettre adressée par M. Sieulle à M. Dupetit-Thouars. Elle est insérée aux Annales de la Société d'Horticulture, tome 3, p. 165. Elle est accompagnée d'une planche.

tandis que la partie intérieure de cette même couche devient un duramen dur et compacte. J'ai remarqué ce phénomène quelquefois dans le chêne, et très-souvent dans le châtaignier. Lorsque le tronc de ces arbres commence à se pourrir, les portions d'aubier restées intercalées au duramen se décomposent les premières, et le bois se sépare en lames concentriques.

Les arbres produisent chaque année une couche d'aubier, et ils n'en produisent qu'une seule. On a prétendu cependant qu'il se formait chaque année deux couches d'aubier l'une à la *séve du printemps* et l'autre à la *séve d'août;* mais cette opinion certainement émise *à priori* n'a jamais été appuyée sur des observations exactes, aussi n'a-t-elle point de partisans parmi les hommes instruits. Toutefois j'ai cherché à dissiper tous les doutes qui pourraient exister à cet égard en observant le nombre des couches ligneuses chez beaucoup d'arbres d'espèces différentes dont l'âge exact m'était connu. Les propriétaires de bois taillis connaissent très-exactement l'âge de ces bois; l'âge des futaies appartenant à l'État et que l'on exploite périodiquement est connu également d'une manière précise. C'est, pourvu de ces documents authentiques, que j'ai procédé à l'examen du nombre des couches ligneuses que possédaient les arbres de différentes espèces contenus dans une même exploitation, et toujours j'ai trouvé que le nombre des couches ligneuses des arbres était égal à celui de leurs années. Cet examen doit être fait au pied de l'arbre, c'est-à-dire auprès du sol, car ce n'est que là que l'arbre possède un nombre de couches ligneuses égal à celui de ses années. On sent facilement que cela doit être ainsi, puisque la première couche ligneuse n'existe que là où se trouvait la tige peu élevée que l'arbre a produite dans sa première année.

La betterave (*beta vulgaris*) offre une exception fort remarquable au fait général de la production d'une seule couche annuelle par le système central; chez elle ce système produit plusieurs couches dans la même année. L'exposition détaillée de ce fait demande que je remonte à l'époque de la germination de cette plante.

Le caudex descendant des graines en germination n'est pas la radicule seule; ce caudex descendant est composé de la tigelle et de la radicule; or, la tigelle, qui est inférieure à l'insertion des cotylédons, reste souvent souterraine comme la radicule qui lui fait suite, et cette tigelle prend alors l'apparence d'une racine; c'est ce qui arrive par exemple chez le *raphanus sativus*. C'est à M. Turpin que l'on doit la connaissance de ce fait de physiologie végétale [1]: il a fait voir que la rave et le radis que l'on sert sur nos tables ne sont point des racines, comme on le croyait, mais que ce sont de véritables tiges souterraines, produites par le développement radiciforme du premier mérithalle de la plante. Or, j'ai observé qu'il en est exactement de même du corps souterrain que l'on considère généralement comme la racine de la betterave. La fig. 2, pl. 14, représente cette plante peu de jours après sa germination; *a*, les deux cotylédons qui paraissent seuls à la surface du sol, surface marquée par la ligne *s*; *b* tigelle radiciforme et souterraine de la plante; *c* racine pivotante. C'est très-spécialement la tigelle souterraine *b*, dont le développement est considérable, qui constitue ce que l'on nomme vulgairement la *racine* de la betterave. Elle ressemble ainsi tout à fait, sous ce point de vue, aux raves et aux radis; elle leur ressemble de plus par le phénomène de sa décortication partielle. M. Turpin a fait voir que, peu de temps après la germination, les raves et les radis perdent la partie extérieure de leur écorce, qui se fend et se détache. M. H. Cassini avait, à tort, considéré ce phénomène de décortication comme indiquant l'existence d'une coléorhize. J'ai observé le même phénomène chez la bet-

[1] Annales des Sciences naturelles. Nov. 1830.

terave, et j'ai vu quelle est la partie de l'écorce dont se dépouille sa tigelle radiciforme et souterraine. La figure 1, pl. 14, représente la coupe transversale amplifiée de cette tigelle, qui n'a encore que trois à quatre millimètres de diamètre. On y distingue déjà quatre couches concentriques dans le système central. L'écorce est composée de deux couches : l'extérieure *a*, composée de cellules fort grandes, est le parenchyme ou la médulle corticale ; l'intérieure *b* est la couche fibreuse corticale ; elle est fort mince et paraît opaque sur cette coupe transversale. Peu de temps après la germination, la couche de médulle corticale *a* se déchire ou se fend longitudinalement dans plusieurs endroits, parce que son développement en ampleur n'est point en rapport avec le développement en grosseur du reste de la tige radiciforme qu'elle recouvre. Cette couche extérieure de l'écorce ainsi fendue en plusieurs parties, meurt et se détache, en sorte qu'il ne reste plus sur la tigelle radiciforme que la couche interne et fort mince de son écorce fibreuse *b*. La tige souterraine de la betterave, en se développant subséquemment, continue de conserver l'écorce incomplète et rudimentaire qui lui est restée ; elle est si mince, qu'on pourrait croire à son absence, si on ne l'avait pas suivie dès son origine et si on ne la distinguait pas d'ailleurs à son organisation. Les cellules du système central sont disposées, sur la coupe transversale, en séries rectilignes rayonnantes, du centre vers la circonférence ; les cellules de l'écorce rudimentaire observées sur cette même coupe transversale, sont disposées en séries, dont la direction coupe à angle droit la direction des rayons médullaires ci-dessus. L'exiguïté du système cortical dans la tige souterraine de la betterave, fait qu'elle semble, au premier coup d'œil, formée tout entière par le système central. Ce dernier est composé de couches concentriques, comme l'est le bois d'un arbre dicotylédon. J'ai suivi par l'observation la formation de ces couches.

Dans la tige radiciforme de trois à quatre millimètres de diamètre et qui n'avait pas encore éprouvé sa décortication partielle, tige dont la coupe transversale est représentée par la fig. 1, pl. 14, j'ai distingué au microscope l'existence de quatre couches dans le système central. La tige radiciforme qui a subi la décortication et qui a atteint le diamètre de sept millimètres ou trois lignes environ, offre cinq couches concentriques. Une tige radiciforme plus âgée et de quatorze millimètres ou six lignes environ de diamètre, n'offre encore, comme la tige précédente, que cinq couches dans son système central, mais elles ont toutes acquis une épaisseur double. Une tige radiciforme plus âgée encore et de quatre centimètres, ou dix-huit lignes de diamètre, offre six couches. L'accroissement en grosseur de cette tige radiciforme, qui a sextuplé de diamètre depuis la seconde observation, s'est opéré presque entièrement par l'accroissement en épaisseur des cinq couches les plus intérieures, car la sixième ne commence encore à se montrer que comme une lame dont la coupe transversale paraît linéaire au microscope ; elle est, dans les premiers temps, exclusivement composée de tissu cellulaire ; mais bientôt on y voit apparaître les faisceaux de tubes fibreux. Ces faisceaux se présentent, sur la coupe transversale de la tige radiciforme, sous l'aspect de corps cunéiformes ayant leurs pointes dirigées vers le centre, de la même manière que cela a lieu chez la clématite (planche 2, fig. 6). Les rayons médullaires primitifs sont formés par le tissu cellulaire qui sépare ces faisceaux, dans l'intérieur desquels naissent ensuite de nouveaux rayons médullaires et de nouveaux faisceaux fibreux par un mécanisme qui m'a paru analogue à celui qui opère de même la multiplication des rayons médullaires et des faisceaux fibreux dans le système cortical de l'*echium vulgare* (planche 2, fig. 9).

Dans l'accroissement ultérieur que prend cette tige radiciforme, on continue d'observer les mêmes phénomènes ; il se forme de nouvelles couches au-des-

sous de l'écorce en dehors du système central, et les couches anciennes continuent à s'accroître en épaisseur; en sorte que lorsque la tige radiciforme a acquis huit à dix centimètres ou trois à quatre pouces de diamètre et cela dans l'espace de six mois, elle possède huit à dix couches concentriques, et ce sont les couches intérieures qui sont les plus épaisses, parce qu'elles sont les plus anciennes et qu'elles se sont accrues sans discontinuité depuis leur première formation. Cet accroissement en épaisseur qui a lieu simultanément dans toutes les couches coexistantes entraîne de toute nécessité l'existence d'un accroissement en ampleur dans ces mêmes couches, afin de fournir de la place aux couches sous-jacentes. En même temps que chaque couche éloigne sa face externe du centre par son accroissement en épaisseur, elle éloigne également du centre sa face interne par son accroissement en ampleur, qui augmente le diamètre du tube qu'elle représente. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que le développement des couches en ampleur est d'autant plus grand que ces couches sont plus sollicitées à s'élargir par le développement en épaisseur des couches sous-jacentes, en sorte que ce sont les couches les plus extérieures qui se développent le plus en ampleur; la couche la plus centrale n'éprouve point du tout ce développement. Il paraîtrait par là que ce développement en ampleur serait favorisé et même exclusivement sollicité par la distension qu'éprouve le tissu de chaque couche par l'effet du développement en épaisseur des couches sous-jacentes. Cet accroissement en ampleur des couches s'opère en partie par l'accroissement en grosseur des organes cellulaires qui les composent, mais très-spécialement aussi par la multiplication intercalaire de leurs rayons médullaires et de leurs faisceaux de cellules allongées qui remplacent ici les tubes fibreux du corps ligneux des arbres.

L'observation de l'accroissement simultané de toutes les couches concentriques dont se compose le système central de la tige radiciforme de la betterave offre un fait unique jusqu'ici dans la physiologie végétale; en effet tous les faits connus relativement à l'accroissement en épaisseur des couches dont se compose le système central ont appris que c'est exclusivement la couche la plus superficielle de ce système qui s'accroît en épaisseur; les couches qu'elle recouvre ne s'accroissent plus; la couche la plus extérieure de l'aubier est la seule qui soit en contact avec la séve nourricière, qui est épanchée entre le bois et l'écorce; voilà, sans doute, pourquoi elle est la seule qui s'accroisse. On conçoit, d'après cela, que si cette séve nourricière coulait avec une égale facilité et avec une égale abondance entre toutes les couches ligneuses, celles-ci seraient à même de continuer leur accroissement, lequel n'aurait été interrompu que par l'absence du liquide nutritif. Or cette supposition se trouve réalisée dans la tige radiciforme de la betterave. Il existe entre chacune des couches dont se compose le système central de cette tige radiciforme un tissu cellulaire très-lâche, qui sert de réceptacle et de conduit à la séve nourricière ou à une sorte de *cambium*. Aussi lorsqu'on coupe en travers une tige radiciforme de betterave fraîchement arrachée, voit-on un liquide limpide sortir de tous les intervalles des couches, il résulte de la présence de cette séve nourricière entre toutes les couches que chacune d'elles doit s'accroître en épaisseur sans discontinuité, et c'est effectivement ce qui a lieu. Chacune de ces couches se comporte ainsi comme la couche la plus extérieure de l'aubier des arbres; elle s'accroît en épaisseur par un développement centrifuge, et par conséquent par sa face externe seulement; sa face interne, qui est très-spécialement occupée par des faisceaux de tubes pneumatiques, ne s'accroît point en épaisseur par un développement centripète, quoiqu'elle soit en contact avec la séve nourricière; la face externe de chaque couche est le siége exclusif de cet accroissement. L'écorce toujours très-mince l'est cependant moins dans les grosses tiges radiciformes, que dans celles

qui sont plus petites et plus jeunes ; cela prouve qu'elle s'accroît en épaisseur, mais d'une manière à peine sensible ; son accroissement en ampleur est très-considérable.

La tige radiciforme de la betterave s'accroît aussi en longueur par le moyen de l'*élongation intermédiaire*, ainsi que cela a lieu dans les tiges de tous les végétaux, tant que ces tiges conservent une certaine mollesse dans leur tissu ; on sait que les véritables racines ne présentent jamais cette *élongation intermédiaire*, elles ne s'allongent que par les spongioles qui les terminent. J'ai vu des tiges radiciformes de betterave s'accroître tellement en longueur au moyen de l'élongation intermédiaire, qu'elles sortaient de terre dans une longueur de plus de huit pouces. Cette sortie de terre de la tige radiciforme provenait de ce que, rencontrant dans le sol un obstacle qui s'opposait à la descente et ne rencontrant aucun obstacle de la part de l'air pour son ascension, elle portait en entier de ce dernier côté les effets de son élongation intermédiaire. On observe le même phénomène dans d'autres plantes, et notamment dans la variété potagère du chou qui porte le nom de *chou-rave*.

§ II. — *De l'accroissement en diamètre des végétaux monocotylédons.*

Tout le monde connaît le beau travail de Desfontaines sur l'organisation des plantes monocotylédones et dicotylédones [1]. Ce célèbre botaniste a tracé d'une main savante les caractères distinctifs de ces deux grandes classes de végétaux, qui diffèrent également par leur structure intérieure et par le nombre de cotylédons de leur embryon. Guidé par l'observation, peut-être me sera-t-il possible d'ajouter quelques traits à l'excellent tableau qu'il a tracé.

Le plus souvent la tige des végétaux monocotylédons ne s'accroît point en diamètre du moment qu'elle est formée ; bien différente en cela de la tige des dicotylédons, qui, postérieurement à sa formation, prend toujours un accroisssement en diamètre plus ou moins considérable. La tige des monocotylédons n'offre point de couches concentriques ni de rayons médullaires ; chez elle la multiplication des fibres ligneuses se fait par une interposition générale, qui a lieu surtout vers le centre. Pour aprécier d'une manière exacte la nature des différences qui existent entre les tiges des monocotylédons et celles des dicotylédons, il est nécessaire d'étudier, chez les unes et chez les autres, la manière dont se comportent les faisceaux de tubes ligneux qui pénètrent de la tige dans les pétioles des feuilles.

Chez les monocotylédons, les nouveaux faisceaux pétiolaires naissent au centre de la tige ; cela ne pouvait être autrement, puisque les feuilles nouvelles auxquelles ils correspondent occupent le centre du bourgeon. Ces faisceaux pétiolaires sont séparés par un tissu cellulaire plus ou moins abondant. Ainsi chez les monocotylédons, les faisceaux de tubes pétiolaires naissent à l'intérieur des faisceaux plus anciens ; c'est-à-dire, qu'ils sont plus voisins du centre de la tige. Voyons actuellement comment se passe le même phénomène chez les dicotylédons. Chez ces derniers, comme chez les monocotylédons, les feuilles nouvelles occupent le centre du bourgeon ; par conséquent les faisceaux pétiolaires qui leur correspondent doivent être de même plus voisins du centre de la tige, que ne le sont les faisceaux pétiolaires qui appartiennent aux feuilles plus âgées émanées de ce même bourgeon. C'est aussi ce que l'observation démontre. Chez les dicotylédons, les faisceaux de tubes ligneux qui pénètrent dans les pétioles des feuilles supérieures prennent leur origine en dedans de ceux qui pénètrent dans les pétioles des feuilles inférieures ; c'est-à-dire, que les premiers sont plus voisins du centre de la tige que les derniers. Cette disposition est très-facile à voir chez presque tous les végétaux dicotylédons. Ainsi, il

---

[1] Mémoires de l'Institut (sciences mathématiques et physiques), tome 1, page 478.

n'existe véritablement aucune différence essentielle et fondamentale entre les monocotylédons et les dicotylédons, sous le point de vue de la production de leurs faisceaux de tubes pétiolaires, et du développement de leurs bourgeons. Mais, chez les monocotylédons, les faisceaux de tubes pétiolaires sont le plus souvent isolés les uns des autres; ils sont plongés dans un tissu cellulaire abondant, tandis que chez les dicotylédons, ces mêmes faisceaux pétiolaires, serrés les uns contre les autres, forment par leur réunion l'étui médullaire à la partie intérieure duquel naissent les faisceaux de tubes qui doivent pénétrer dans les feuilles nouvelles.

Ainsi la production de nouveaux faisceaux de tubes pétiolaires par le centre du végétal, que l'on regardait comme l'attribut spécial des monocotylédons, appartient également aux dicotylédons; mais chez ces derniers cette production centrale n'accroît point le diamètre de la tige, tandis qu'elle l'accroît chez les monocotylédons: on va voir à quoi tient cette différence. Il y a trois états très-distincts dans la vie végétale: 1° l'état de bourgeon qui est en quelque sorte l'état de *fœtus végétal produit par gemmation*; 2° l'état postérieur à l'état de bourgeon ou l'*état herbacé* qui est en quelque sorte l'état d'*enfance végétale*; 3° l'état adulte. J'ai jeté plus haut un coup d'œil sur les deux derniers états, c'est-à-dire sur l'*état d'enfance* et sur l'*état adulte* chez les dicotylédons. Chez ces derniers l'*état de bourgeon* est peu marqué; l'accroissement sous cette forme ou dans cet état premier est originairement très-peu considérable. Chez les monocotylédons il n'en est pas de même; leurs bourgeons sont ordinairement énormes; toute multiplication de parties s'opère chez eux dans le bourgeon exclusivement, et le développement donne ensuite un volume plus ou moins considérable à ces parties primitivement formées. Dès qu'une partie quelconque des monocotylédons est sortie du bourgeon, elle cesse de s'accroître par une production intérieure d'organes nouveaux; elle ne fait que développer ceux qu'elle a reçus à l'état rudimentaire dans le bourgeon. Une tige d'asperge, par exemple, se développe, grandit et grossit en conservant exactement le nombre des organes intérieurs qui lui ont été donnés par l'*accroissement* dans le bourgeon; tout ce qu'elle acquiert en dimension, postérieurement, n'est que l'effet du *développement* ou de l'augmentation du volume des organes acquis sous l'*état de bourgeon* ou de *fœtus végétal par gemmation*. On peut se convaincre de la vérité de cette assertion, en observant au microscope des tranches transversales de la tige de l'asperge à différentes hauteurs, avant que cette tige ait développé ses rameaux. On trouve partout le même nombre de faisceaux de tubes; cependant la tige a moins de diamètre dans le haut que dans le bas; mais on voit que cette différence provient exclusivement de ce que les cellules qui entourent les faisceaux sont plus augmentées de volume dans le bas que dans le haut. Ces cellules forment une masse dans laquelle les faisceaux de tubes sont disposés assez symétriquement et d'une manière concentrique; elles sont décroissantes de grandeur du centre vers la circonférence, et tellement qu'elles ne sont plus que des globules dans le voisinage de l'écorce dont les cellules plus grandes n'offrent aucun décroissement appréciable dans leur grandeur. Ce décroissement des cellules du tissu cellulaire, dans lequel les faisceaux de tubes sont plongés, prouve que ce tissu cellulaire est une véritable médulle centrale semblable à celle des dicotylédons. Chez ces derniers la médulle centrale offre au milieu de la tige une masse qui porte le nom spécial de *moelle*; ensuite elle est intercalée aux faisceaux de tubes de la partie ligneuse, faisceaux qui sont extrêmement rapprochés les uns des autres, en sorte que la médulle centrale qui les sépare ne consiste que dans des lames minces qui constituent les rayons médullaires. Chez les monocotylédons, cette même médulle centrale n'offre point le plus souvent de masse centrale très-distincte, et les faisceaux de tubes de la partie ligneuse sont très-écartés les uns des autres, en sorte que la médulle cen-

trale qui les sépare offre une épaisseur assez considérable. Il n'y a donc véritablement ici que des différences de proportions entre le tissu ligneux et le tissu médullaire, et ce sont ces seules différences de proportion qui distinguent, dans le principe, l'organisation des tiges des végétaux monocotylédons, de celle des végétaux dicotylédons; je dis *dans le principe*, car plus tard il se manifeste des différences fondamentales. Chez les dicotylédons naissants, ou sortants du bourgeon, il existe une médulle centrale à cellules décroissantes du centre à la circonférence du système central; les faisceaux ligneux, très-rapprochés les uns des autres, occupent seulement la partie la plus extérieure de cette médulle dans laquelle ils sont plongés. Chez les monocotylédons il existe de même une médulle centrale à cellules décroissantes du centre à la circonférence du système central; les faisceaux ligneux éloignés les uns des autres, sont disséminés dans toute l'étendue de cette médulle dans laquelle ils sont plongés. Ainsi, toute la différence qu'il y a ici, consiste dans la diffusion locale ou dans la diffusion générale des faisceaux ligneux dans la moelle; mais cette règle, elle-même, n'est point générale; on trouve en effet des végétaux dicotylédons, tels que les férules, les cicas, chez lesquels on observe la diffusion générale des faisceaux ligneux dans la moelle, et beaucoup de racines de végétaux monocotylédons offrent une moelle centrale tout à fait dépourvue de faisceaux ligneux; telles sont, par exemple, les racines du *ruscus aculeatus*. Ces racines, très-distinctes de la tige souterraine ou du rhizôme, offrent un système cortical épais à cellules décroissantes de dehors en dedans, et un système central composé d'une véritable moelle à cellules décroissantes de dedans en dehors et environnée par une couche circulaire de tissu ligneux. Ici l'organisation ne diffère en rien de celle de la tige naissante d'un végétal dicotylédon, et l'accroissement en diamètre s'opère de la même manière. On observe les mêmes phénomènes d'organisation et d'accroissement en diamètre, dans les racines des *nymphea*, racines que je ne confonds point non plus avec les rhizômes de ces plantes; mais tous les botanistes ne sont pas d'accord pour les classer parmi les monocotylédons auxquels il me paraît cependant bien évident qu'elles appartiennent. Des observations dues à Dupetit-Thouars [1] prouvent que les stipes des *dracæna*, des *aloès* et des *yuca* s'accroissent en diamètre, lorsque ces végétaux monocotylédons se ramifient. Le *dracæna umbraculifera*, par exemple, qui n'a qu'une cime comme les palmiers, ne croît pas en diamètre; mais le *dracæna draco* qui se ramifie grossit considérablement. Le stipe des *yuca* ne grossit point tant que ces végétaux ne conservent qu'une cime; mais si quelque accident les prive de leur tête, ils se ramifient, et dès lors ils croissent en diamètre. D'après ces observations de Dupetit-Thouars, il paraîtrait que l'accroissement en diamètre des tiges des monocotylédons dépendrait de la ramification de leur cime; cependant la naturaliste que je viens de citer convient lui-même qu'il y a beaucoup de végétaux monocotylédons très-rameux, dont la tige ne grossit point du tout, du moment qu'elle est formée. Tels sont les *pandanus*, les *asparagus*, les *convallaria*, les *ruscus*, les *smilax*, les *commelina*, etc. Que doit-on conclure de là? C'est que la ramification des tiges des monocotylédons n'est point la cause de leur accroissement en diamètre, bien qu'il arrive quelquefois que ces deux faits coïncident. Comment s'opère cet accroissement en diamètre? Nous l'ignorons.

Les tiges des végétaux monocotylédons éprouvent souvent un accroissement progressif de diamètre, à mesure qu'elles croissent en longueur. Cette augmentation de grosseur de la tige est toujours en rapport avec la grosseur du bourgeon terminal que possède cette tige. Lorsque ce bourgeon ne s'accroît point en grosseur, la tige qui en émane a constamment le même diamètre; lorsque le bourgeon

---

[1] Accroissement en diamètre du *Dracæna*.

grossit, la tige grossit également : la raison en est facile à saisir. L'accroissement en grosseur du bourgeon se fait par l'augmentation du nombre de ses feuilles coexistantes ; or, comme chacune de ces feuilles reçoit de la tige plusieurs faisceaux de tubes pétiolaires, il en résulte que plus il y aura de feuilles coexistantes dans le bourgeon, plus il y aura de faisceaux de tubes pétiolaires ; plus par conséquent la tige sera grosse. Chez certains monocotylédons, le bourgeon s'accroît de cette manière, jusqu'à ce qu'il ait acquis une grosseur déterminée qu'il ne dépasse plus. Alors la tige qui en émane conserve constamment la même grosseur, et elle ne croît point en diamètre du moment qu'elle est formée. De là vient que la tige submergée du *nymphea*, que les tiges souterraines de l'*iris* et du *ruscus aculeatus*, que le stipe souterrain du *polypodium filis-mas*, d'abord fort grêles, s'accroissent en diamètre jusqu'à une certaine dimension qui n'est plus dépassée dans la suite de l'accroissement en longueur de ces tiges. Le stipe des palmiers, de même fort grêle dans le principe, ne s'élève ordinairement au-dessus du sol, que lorsque son bourgeon terminal a acquis le maximum de son développement en grosseur.

Les végétaux monocotylédons possèdent un système cortical et un système central comme les dicotylédons, cependant on a prétendu que l'écorce n'existait pas chez eux ; le fait est qu'elle existe toujours ; mais comme elle est souvent à l'état rudimentaire, cela a pu porter à douter de son existence. C'est spécialement chez les racines que le système cortical des monocotylédons est facile à distinguer ; on le reconnaît à ses cellules décroissantes de dehors en dedans, ce qui est le trait caractéristique du système cortical chez les racines de tous les végétaux. J'ai étudié sous ce point de vue presque toutes les familles des végétaux monocotylédons, et je puis affirmer qu'il n'est pas un seul de ces végétaux dans les racines duquel on ne distingue très-facilement les deux systèmes cortical et central. Ces deux systèmes se distinguent également sur les productions que l'on a appelées mal à propos *racines progressives* et *rhizômes*, racines prétendues qui sont de véritables tiges souterraines. C'est ainsi que le système cortical se distingue parfaitement à ses cellules décroissantes de dehors en dedans, chez la tige souterraine du *ruscus aculeatus*, du *carex riparia*, du *sagittaria sagittifolia*, du *scirpus lacustris*, des différentes espèces de *juncus*, du *phalaris arundinacea*, du *potamogeton natans*, etc. Le décroissement caractéristique des cellules du système cortical n'est point ordinairement apercevable chez les tiges souterraines de certains autres végétaux monocotylédons, tels que les *iris*, le *sparganium erectum*, le *typha latifolia*, etc. Cependant le système cortical de ces tiges souterraines ne laisse pas d'être très-facile à distinguer par son organisation et son aspect particulier du système central, et même en observant quelques-unes de ces tiges à leur naissance, ou à leur pointe végétante, on y distingue le décroissement des cellules du système cortical, décroissement qui disparaît plus tard ; c'est par exemple ce que j'ai observé chez le *typha latifolia*. Chez les tiges aériennes des végétaux monocotylédons, le système cortical devient presque toujours rudimentaire et ne s'aperçoit que difficilement et seulement au microscope. C'est ainsi qu'on le voit dans la tige aérienne du *tamus communis* et du *ruscus aculeatus ;* chez la plupart des tiges aériennes des autres végétaux monocotylédons, le système cortical ne se distingue presque point du système central, si ce n'est dans l'endroit où la tige aérienne naît de la tige souterraine, lorsqu'il y en a une. Ainsi, par exemple, chez le *phalaris arundinacea*, le système cortical de la tige souterraine consiste en un tissu cellulaire décroissant de dehors en dedans, au milieu duquel se trouve une série circulaire de gros tubes. On retrouve la même organisation dans les mérithalles inférieurs du chaume de cette plante graminée ; mais dans les mérithalles supérieurs le système cortical devient extrêmement mince ; on ne peut plus le distinguer du système central.

Il résulte de ces observations que ce qui caractérise spécialement les végétaux monocotylédons, c'est leur développement considérable sous l'état de bourgeon ; ce n'est même que sous cet état qu'ils acquièrent des parties nouvelles, qu'ils augmentent ensuite de volume ; en sorte qu'un végétal monocotylédon est véritablement toute sa vie dans un état d'*enfance végétale*. Tout concourt donc à prouver que l'organisation végétale est fondamentalement la même chez les monocotylédons et chez les dicotylédons ; il n'y a entre eux que des degrés de perfection organique. Les monocotylédons offrent en général la persistance de l'état d'*enfance végétale ;* les dicotylédons offrent l'état *adulte de la végétation*.

§ III. — *De l'accroissement des organes tégumentaires des végétaux* [1].

L'enveloppe tégumentaire des végétaux est composée de l'épiderme, membrane diaphane sans organisation cellulaire apparente et du *tégument cellulaire*, membrane composée de cellules, sous-jacente à l'épiderme et appliquée immédiatement sur la médulle corticale ; ses cellules sont, la plupart du temps, très-différentes par leur grandeur ou par leur forme des cellules de la médulle corticale, en sorte qu'il est bien évident que le tégument cellulaire est un organe tout à fait à part du tissu cellulaire médullaire cortical qu'il revêt. Le tégument cellulaire s'accroît toujours en épaisseur par le progrès de l'âge, quoique ce soit souvent d'une manière à peine sensible. Cet accroissement du tégument cellulaire en épaisseur s'opère par couches successives, en sorte que ce sont les plus intérieures qui sont les plus nouvelles. C'est ce que l'on voit, par exemple, sur les tiges du bouleau (*betula alba*). Car ce n'est pas de l'épiderme, comme on le pense généralement, qui se détache par couches blanchâtres successives des tiges de cet arbre ; ces couches sont cellulaires, et par conséquent, elles appartiennent au tégument cellulaire. On fait la même observation sur le tronc du merisier (*prunus avium*), chez lequel le tégument cellulaire est disposé par couches très-denses et très-adhérentes les unes aux autres, et qui ne se prêtent à la division mécanique, c'est-à-dire au déchirement, que dans le sens transversal. Cela provient de ce que les cellules qui composent ce tégument cellulaire sont disposées en séries transversales ou suivant la circonférence du tronc. Ce tégument cellulaire du merisier devient assez épais avec l'âge ; ses couches les plus nouvelles sont, comme à l'ordinaire, celles qui sont voisines de la médulle corticale ; ainsi le tégument cellulaire offre généralement un *accroissement centripète*.

Les poils et certains aiguillons sont des dépendances du tégument cellulaire, et leur accroissement s'opère de la même manière. Il y a des *poils simples* qui sont composés d'une seule cellule allongée en tube conique, et des *poils cloisonnés* qui sont composés de plusieurs cellules, placées bout à bout. La partie libre et émergente des poils est toujours privée de vie ; ce n'est donc que par leur base qu'ils peuvent prendre de l'accroissement ; c'est ainsi que s'accroissent, par exemple, les poils simples si longs, qui sont sur les aigrettes des semences du *clematis vitalba*. On peut comparer, à cet égard, les *poils simples* des végétaux aux poils des animaux, lesquels ne s'accroissent de même que par leur base. L'accroissement des poils cloisonnés doit s'opérer par la production de nouvelles cellules à leur base, mais il est difficile de s'en assurer par une observation directe.

On sait que les aiguillons des végétaux ne sont pas tous de même nature ; ainsi, par exemple, les aiguillons crochus du *robinia pseudo-acacia*, qui ressemblent si fort extérieurement aux aiguillons crochus des rosiers et des ronces, en diffèrent essentiellement à l'intérieur : les premiers sont des stipules soumises à un

[1] Les observations contenues dans ce paragraphe ont été communiquées à l'Académie des Sciences de l'Institut dans sa séance du 9 janvier 1837.

mode particulier de développement; les seconds sont dus à un développement particulier du tégument cellulaire et de l'épiderme qui le recouvre. C'est ce que l'on va voir par l'exposé de la structure de ces aiguillons et par l'examen du mode de leur accroissement.

L'aiguillon du rosier, dont la figure 1 de la planche 3 représente la coupe verticale, naît et se développe sur la surface externe de la médulle corticale *m* de la tige. La substance intérieure de l'aiguillon est formée entièrement par un tissu cellulaire composé de rangées transversales de cellules, qui forment ainsi des séries rectilignes. Ce tissu cellulaire de couleur rousse est privé de vie, et ses cellules ne contiennent que de l'air. En observant ce tissu cellulaire intérieur à diverses époques de l'accroissement de l'aiguillon, on voit que le nombre des cellules dans chaque rangée transversale augmente progressivement, et on ne tarde pas à acquérir la certitude que cette production des cellules nouvelles a lieu à la base de l'aiguillon, là où les rangées transversales des cellules intérieures touchent le parenchyme ou la médulle corticale *m*, laquelle revêt extérieurement la partie fibreuse *f* de l'écorce. En même temps que les rangées transversales de cellules s'augmentent en longueur par cet accroissement centripète, il naît à la circonférence de la base de l'aiguillon, et sous son enveloppe tégumentaire dure et cornée, de nouvelles rangées transversales de cellules qui augmentent progressivement l'étendue de la base de l'aiguillon, surtout dans le sens vertical, en sorte que l'aiguillon s'augmente en grosseur en même temps qu'il s'accroît en longueur. Ce double accroissement s'opère ainsi tout entier à la base de l'aiguillon et cela par l'addition de nouvelles cellules aux rangées existantes et par l'addition latérale de nouvelles rangées de cellules. Tout ce qui a été précédemment produit ne s'accroît plus, car tout a cessé de vivre, il n'y a de vie et de développement qu'à la base appuyée sur la face externe de la médulle corticale de la tige. Cet accroissement s'arrête lorsque la partie fibreuse de l'écorce a acquis une épaisseur assez grande pour que les sucs nourriciers ne parviennent plus que difficilement à la médulle corticale qui est véritablement l'organe nutritif de cette production, laquelle appartient tout entière à l'enveloppe tégumentaire de la tige, c'est à dire au tégument cellulaire et à l'épiderme; c'est un véritable liége, tout à fait semblable par sa nature et par son mode d'accroissement au liége du *quercus suber*, ainsi que je vais le faire voir tout à l'heure. Je dois auparavant étudier la structure d'un aiguillon en apparence très-différent de celui du rosier, et qui cependant n'en diffère point essentiellement par sa structure intime; je veux parler de l'aiguillon du *zanthoxylum juglandifolium* (Willd.). La tige de cet arbre des régions chaudes de l'Amérique est couverte d'aiguillons volumineux; la figure 2, planche 3, en représente un de grandeur naturelle et coupé verticalement dans une partie seulement de son épaisseur pour faire voir qu'il est composé de couches successives qui vont en augmentant de largeur du sommet à la base. Chacune de ces couches est composée de rangées transversales de cellules exactement de la même manière que cela a lieu dans l'aiguillon du rosier. Mais ces cellules sont beaucoup plus petites, ce qui fait que le tissu qu'elles forment par leur assemblage est pourvu de plus de densité et de dureté. Ces aiguillons du *zanthoxylum* ne sont point recouverts, comme ceux du rosier, par une enveloppe dure et cornée. Le nombre des couches dont ils sont composés m'a paru égal à celui des couches ligneuses de la tige, en sorte que le nombre des couches de l'aiguillon indique le nombre des années pendant lesquelles il s'est accru. Il résulte de là que si l'aiguillon du rosier ne possède qu'une seule couche, cela provient de ce qu'il ne s'accroît que pendant sa première année; il demeure stationnaire pendant les années suivantes, et cela parce que la médulle corticale qui lui fournissait la séve nourricière a cessé d'être propre à remplir cette fonction à son égard. Il en est autrement

chez le *zanthoxylum*, dont l'écorce est extrêmement mince, ce qui est une condition favorable pour que la séve nourricière puisse arriver à la base de l'aiguillon et servir à son accroissement.

J'arrive actuellement par une transition toute naturelle à l'étude de la structure et du développement du liége. Cette substance est généralement considérée comme due à un développement particulier du parenchyme extérieur de l'écorce ou de ce que je nomme la *médulle corticale;* c'est cette opinion que professe M. de Candolle dans son *Organographie végétale.* Les observations qui vont suivre ne me permettent pas de partager cette opinion.

Le *quercus suber* n'est pas le seul arbre qui produise du liége; on trouve aussi cette production végétale, mais en petite quantité, sur une variété de l'orme (*ulmus campestris*). C'est sur ce dernier arbre que j'ai observé d'abord le mode d'accroissement du liége. C'est seulement sur les jeunes branches de cet arbre que l'on trouve cette production; son tronc et ses grosses branches n'en produisent point; cette production de liége s'arrête lorsque la branche ou la tige est âgée de six à huit ans. Pour bien observer l'origine de cette production, il faut choisir une branche d'orme à liége âgée seulement de deux à trois ans, et sur laquelle le liége ne soit développé que par places, en sorte que dans certains endroits la surface de l'écorce n'en présente point du tout, et soit couverte encore de son épiderme. Alors au moyen de coupes transversales et longitudinales, on voit que le liége est composé de couches superposées et ordinairement en nombre égal à celui des couches ligneuses, en sorte qu'il est évident qu'il s'en est formé une chaque année. La couche de liége la plus extérieure est recouverte par un fragment de l'épiderme qui a été rompu par le développement de cette substance, et cela parce qu'il n'a pu acquérir une ampleur assez grande pour continuer d'envelopper sans discontinuité cette volumineuse et nouvelle production, laquelle se projette au dehors sous la forme de lames anguleuses rayonnées, comme on le voit en *b b* dans la figure 10 (planche 2). On voit en *a* une portion de la branche sur laquelle il n'y a point eu de production de liége et qui est encore complétement recouverte de son épiderme et de son tégument cellulaire à l'état normal.

En examinant au microscope une tranche transversale de cette écorce qui porte du liége (pl. 3, fig. 3), on voit que ce dernier *a' a'' a'''* est composé exclusivement de cellules disposées en séries transversales. On en compte ici trois couches; leur séparation est indiquée par une ligne de couleur plus foncée que ne l'est le tissu roussâtre de ces couches elles-mêmes; toutefois il n'y a point là de véritable séparation entre les couches; leurs séries transversales de cellules n'offrent aucune discontinuité, seulement leur couleur rousse est plus foncée dans les endroits où l'on remarque la distinction des couches. C'est dans ces endroits que la production annuelle du liége s'est arrêtée à l'époque de la suspension de la végétation. La couche la plus extérieure *a'* est recouverte par un lambeau d'épiderme *t*. La couche la plus intérieure *a'''* est naissante et encore fort mince; son accroissement s'opère par une production centripète de nouvelles cellules, production qui repousse à mesure vers le dehors les cellules précédemment produites, lesquelles sont de suite frappées de mort et se dessèchent; elles ne contiennent alors que de l'air. Le nombre de ces cellules alignées transversalement va à plus de cinquante dans certaines couches. La nouvelle couche de liége *a'''* est appliquée sur l'écorce *b*, dont la nature a éprouvé ici une modification particulière; elle est entièrement privée de tubes fibreux et se trouve réduite à un tissu cellulaire irrégulièrement rayonnant dans le sens transversal, comme on le voit en *b*. Ce n'est point le développement centrifuge de ce tissu cellulaire, disposé en séries transversales, qui produit le liége, comme on pourrait le croire, car on voit une différence tranchée pour la grandeur et pour la couleur entre les cellules de l'écorce et les cellules du liége, en sorte que les séries très-régulières de

cellules de ce dernier ne se continuent point avec les séries assez peu régulières des cellules de l'écorce. Ainsi le liége est un tissu à part du tissu de la médulle corticale sur laquelle il est seulement appuyé, et qui lui fournit les sucs nutritifs nécessaires pour son accroissement centripète. Je ferai voir tout à l'heure l'origine de ce tissu subérique. Dans les endroits où la branche d'orme n'a point produit de liége, comme on le voit en *d*, l'écorce offre son organisation normale, laquelle est différente de celle de la portion *b*, qui a produit du liége ; cette dernière ne contient que du tissu médullaire ; l'écorce de la portion *d* de la branche, possède, comme à l'ordinaire, une partie interne fibreuse *f*, et une partie externe médullaire *m*, laquelle offre un tissu cellulaire irrégulier ; le tégument cellulaire joint à l'épiderme *t* qui la revêt, examiné au microscope, se trouve composé de cellules exactement semblables à celles qui composent les couches du liége, ce qui achève de prouver que le liége est dû au développement centripète de ce tégument cellulaire dont chaque cellule composante est l'origine d'une série transversale de cellules, série qui s'accroît par production successive de nouvelles cellules à son extrémité en contact avec la médulle corticale. C'est là seulement que ces cellules du liége sont vivantes ; celles qui sont plus extérieures, et qui ne sont plus ainsi en contact avec la médulle corticale, ont cessé de vivre et se sont desséchées.

La production du liége s'arrête chez l'orme lorsque ses branches ou son jeune tronc ont acquis l'âge de six à huit ans ; alors l'écorce fibreuse s'est développée et a acquis une épaisseur telle, que celá met obstacle, à ce qu'il paraît, au facile accès de la séve nourricière dans la médulle corticale dont les sucs alimentent la production subérique. Ce sont donc exclusivement les jeunes branches qui produisent le liége, et encore ne le produisent-elles pas sur toute leur surface ; il y a toujours absence de cette production subérique là où l'écorce est pourvue de sa couche de liber fibreux, en sorte qu'il paraît que c'est la présence de cette couche fibreuse qui met obstacle au développement du liége.

Ces observations conduisent directement à l'étude du liége du *quercus suber*. Ce liége, connu de tout le monde par ses usages domestiques, offre la même structure et le même mode de développement que le liége de l'orme, mais il ne naît point comme lui sur les jeunes branches, c'est au contraire sur les branches et sur les troncs âgés qu'il se développe exclusivement ; il ne commence à apparaître d'une manière sensible que sur les tiges ou sur les branches de l'âge de six à huit ans environ. La fig. 4 (pl. 5) représente la coupe longitudinale de l'écorce et du liége d'une branche de cet âge ; *f*, corps fibreux de l'écorce qui est très-mince; *m*, médulle corticale dans le tissu cellulaire irrégulier de laquelle on voit des corps cellulaires arrondis à demi transparents, de deux dixièmes de millimètre environ de diamètre, ce qui les fait paraître très-gros au microscope relativement aux cellules fort petites qui les environnent. Ces corps ont à leur surface une multitude de globules. *a' a'' a'''* couches de liége au nombre de trois; la plus extérieure et la plus ancienne est encore recouverte par un lambeau d'épiderme *t*. La plus interne de ces couches *a'''* est naissante. Ces couches de liége sont entièrement composées de cellules disposées en séries rectilignes et transversales : elles sont distinguées, mais non séparées les unes des autres par des cellules, dont la couleur rousse est plus foncée. Jusqu'ici, tout est parfaitement semblable à ce qui a été exposé plus haut pour le liége de l'orme, mais voici actuellement ce qui distingue le liége du *quercus suber*. Chez le liége de l'orme, chaque couche est composée de cellules semblables, articulées en séries rectilignes et disposées transversalement, elles forment un tissu homogène ; chez le *quercus suber*, le liége offre dans chaque couche deux ordres de cellules toutes articulées en séries rectilignes transversales, mais différentes pour la grandeur et pour la couleur. Sur une coupe horizontale de

ce liége, on voit alternativement des rangées transversales de cellules grandes et diaphanes, et des rangées transversales de cellules plus petites et presque opaques. Toutes sont également remplies d'air. Le mécanisme de l'accroissement du liége du *quercus suber* est semblable au mécanisme de l'accroissement du liége de l'orme; cette substance est appuyée de même sur la médulle corticale qu'elle enveloppe, et qui lui fournit les matériaux de son accroissement centripète; la médulle corticale a cela de particulier chez le chêne à liége, qu'elle offre dans son intérieur les corps cellulaires arrondis à demi transparents, dont j'ai parlé plus haut; on les voit dans cette couche *m* de médulle corticale (fig. 4). Ces grosses cellules isolées les unes des autres, au milieu d'un tissu cellulaire composé de cellules plus petites, me paraissent être les réservoirs de la séve nourricière abondante, qui fournit les matériaux de l'accroissement du liége. Il est à remarquer que le *quercus suber* produit du liége quoique son écorce possède des couches fibreuses, dont l'ensemble est, il est vrai, toujours de peu d'épaisseur. Je fais cette remarque, parce que l'existence de ces couches fibreuses de l'écorce paraît mettre obstacle à la production du liége chez l'orme. Cette différence tient peut-être à l'organisation toute spéciale que présente la médulle corticale chez le *quercus suber*, organisation en vertu de laquelle cette médulle corticale contient beaucoup plus de sucs nourriciers que n'en contient la médulle corticale des jeunes branches de l'orme, ce qui fait que chez le *quercus suber*, le liége se développe pendant toute la durée de la vie de l'arbre, et qu'il se reproduit lorsqu'il a été enlevé dans sa partie frappée de mort. Sa reproduction, en effet, entraîne la nécessité de la conservation de la couche extrêmement mince et encore vivante du liége, couche qui est en contact immédiat avec la médulle corticale. La plaie qui est faite par l'enlèvement du liége ne se *cicatrise* point, à proprement parler; car il ne se forme point là de nouvel épiderme. Cette plaie se dessèche, et il se forme, sur la surface laissée à découvert, une sorte de *croûte*, de couleur rousse, qui sert d'abri au liége nouveau, lequel se reproduit, ou plutôt qui continue à se développer comme il l'eût fait, si l'arbre fût resté enveloppé par le liége épais qu'on lui a enlevé.

Les jeunes branches du *quercus suber* n'offrent point du tout de liége, leur tégument cellulaire est très-mince, comme il l'est généralement sur les jeunes tiges végétales; en l'observant au microscope, on voit qu'il est composé de cellules tout à fait semblables à celles qui forment le liége de cet arbre. Ce fait concorde, comme on le voit, avec celui qui a été exposé plus haut, touchant la structure du tégument cellulaire de l'orme, et il sert de même à prouver que le liége n'est véritablement que le tégument cellulaire épaissi par son accroissement centripète.

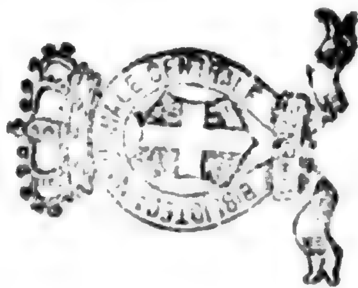
La similitude exacte qui existe pour la structure et pour le mode de développement entre les tissus cellulaires de l'aiguillon du rosier, de l'aiguillon du *zanthoxylum*, du liége de l'orme et du liége du *quercus suber*, ne permet pas de douter que la nature de ces quatre productions ne soit la même; toutes, également sous-jacentes à l'épiderme, présentant de même dans leurs séries transversales de cellules, un accroissement centripète, sont bien évidemment produites par un développement particulier du tégument cellulaire. L'analogie de l'aiguillon du rosier avec les poils végétaux est reconnue par les phytologistes; on peut ainsi considérer chacune des rangées transversales de cellules qui existent dans l'intérieur de cet aiguillon, comme un *poil cloisonné;* l'aiguillon serait ainsi formé par une agglomération de *poils cloisonnés*, que recouvre un même tégument coriace et solide. Cette analogie étant admise, cela conduit à considérer de même le liége de l'orme et celui du *quercus suber*, comme formé par l'agglomération d'une multitude de *poils cloisonnés* qui, dans leur développement, sont restés au-dessous de l'épiderme, au lieu de percer ce dernier pour se produire au de-

hors, ainsi que cela a lieu ordinairement.

Il ne faut pas, ainsi qu'on l'a fait souvent, confondre avec le liége les vieilles couches corticales qui, repoussées vers le dehors, fendues et desséchées, se détachent ou tendent à se détacher du tronc des arbres. Ainsi, c'est à tort, par exemple, qu'on a assimilé au liége les couches qui se détachent annuellement du tronc du *platanus orientalis*. Il suffit d'examiner au microscope le tissu de ces couches, pour voir que ce tissu n'a aucune similitude avec celui qu'offrent généralement les couches subériques; on y reconnaît, au contraire, la structure des couches corticales. L'observation physiologique confirme en outre la distinction que j'établis ici. Lorsqu'une couche extérieure s'est détachée du tronc du platane, on trouve au-dessous une couche de médulle corticale qui verdit à la lumière et qui se couvre d'un épiderme. Or, ces phénomènes n'ont point lieu lors de l'enlèvement du liége. Il n'y a point de tissu médullaire vert à la surface laissée à nu par l'enlèvement du liége, il ne se forme là qu'une *croûte* de couleur rousse, produite par le desséchement de cette surface occupée tout entière par du liége naissant. Les saillies anguleuses, irrégulières, que présentent les vieux troncs des chênes, des ormes, des bouleaux, etc., n'ont aucune analogie avec le liége, ce sont de vieilles couches corticales frappées de mort et desséchées. Les vieux pommiers se dépouillent souvent, comme le platane, de leurs couches corticales les plus extérieures, lesquelles laissent à découvert de même une surface médullaire verte, que recouvre bientôt un épiderme. C'est là un phénomène auquel on pourra souvent reconnaître que la couche qui s'est détachée est véritablement une couche corticale; car les couches fibreuses corticales sont séparées les unes des autres par une couche de médulle corticale, qui verdit et se couvre d'épiderme lorsqu'elle est mise au jour.

Le tégument cellulaire des végétaux monocotylédons s'accroît par un développement centripète, de la même manière que cela a lieu chez les végétaux dicotylédons. J'ai observé, en effet, cet accroissement en épaisseur du tégument cellulaire sur le rhizôme de l'*iris germanica* et sur les racines de l'asperge. Pour compléter à cet égard la similitude entre les végétaux dicotylédons et les végétaux monocotylédons, il faut trouver chez ces derniers la production du liége; or c'est ce que l'on trouve chez le *tamus elephantipes*; ce végétal des régions équatoriales possède un énorme rhizôme qui fait saillie hors de terre; ce rhizôme aérien, qui est l'analogue du rhizôme souterrain que possède le *tamus communis* de nos climats (pl. 10, fig. 10, 11, 12, 13), s'élève à peine à la hauteur d'un pied au-dessus du sol dans nos serres; mais dans les pays chauds, il s'élève, dit-on, jusqu'à la hauteur de six pieds. C'est du sommet de cette grosse *tige inférieure* et douée d'une organisation spéciale, que part la *tige supérieure* assez grêle qui porte les feuilles et les fleurs. Or, sur cette grosse *tige inférieure*, on observe une volumineuse production de liége qui se présente sous la forme de pyramides irrégulières dont la base s'augmente graduellement par l'effet de l'accroissement; la fig. 5, pl. 3, représente une de ces pyramides de liége qui ressemblent un peu aux aiguillons du *zanthoxylum* (fig. 2), quoiqu'elles ne soient pas des aiguillons; elles sont analogues aux productions anguleuses du liége de l'orme (pl. 2. fig. 10).

La pyramide subérique, représentée par la figure 5, est appuyée sur l'écorce de la tige par sa base *aa*; elle est composée de couches, qui vont en diminuant de grandeur, de la base au sommet; on aperçoit ces couches d'une manière peu distincte, sur la surface extérieure et noircie *b* de la pyramide; on les voit très-distinctement sur la coupe *c* pratiquée du sommet à la base; la plus inférieure de ces couches *d*, qui est appuyée immédiatement sur la tige et qui est la plus nouvelle, est blanche, parce que le tissu cellulaire qui la compose est vivant; toutes les couches qui lui sont supérieures sont de couleur rousse, parce que leur



tissu cellulaire composant est mort et desséché. La figure 6 représente en *d*, et vue au microscope, une portion de la couche la plus nouvelle et vivante du liége dont il est ici question, et une portion *e* de la couche de liége privée de vie, qui la précède immédiatement; on voit que ce liége du *tamus elephantipes* possède essentiellement la même structure que le liége des autres végétaux dont il a été question plus haut, c'est-à-dire qu'il est composé de même de séries transversales de cellules; celles-ci sont beaucoup plus grandes qu'elles ne le sont dans aucun autre liége; on trouve en outre ici une circonstance précieuse pour l'observation du mode d'accroissement de ce tissu cellulaire subérique: c'est l'état de vie de la couche *d* tout entière, couche qui est la plus nouvelle. Chez tous les autres végétaux producteurs de liége, il n'y a que les cellules les plus internes de cette substance, qui soient vivantes; toutes les autres meurent à mesure qu'elles sont repoussées, vers le dehors, par la production des cellules nouvelles. Cette prompte extinction de la vie n'a point lieu dans le liége du *tamus elephantipes*, puisque la couche la plus nouvelle de ce liége, couche dont l'épaisseur est au moins de quatre millimètres, demeure vivante dans son entier, jusqu'à ce qu'elle soit remplacée par une couche nouvelle. Cette durée de la vie, dans la couche la plus nouvelle de ce liége, fait que les cellules dont il est composé se développent et acquièrent d'autant plus de longueur qu'elles sont plus anciennes dans l'ordre de leur production; on les voit d'autant plus petites qu'elles sont plus voisines de la base *a a*, qui est le lieu où naissent les nouvelles cellules. Cette observation fait voir à découvert le mode de la production de ces cellules articulées en séries transversales; chacune de ces séries est véritablement une petite tige dirigée transversalement, et dont l'extrémité végétante se trouve en contact avec le corps cortical de la grosse *tige inférieure* du *tamus elephantipes*; c'est là que cette petite tige transversale, véritable *poil cloisonné*, puise les matériaux de son accroissement, lequel consiste dans la production de nouveaux *mérithalles*, consistant chacun dans une seule cellule. Il y a, dans le développement de cette *tigellule*, cela de très-particulier, que c'est par son sommet qu'elle puise les sucs nécessaires à son développement, et non par sa base, ainsi que cela a lieu, presque généralement, pour les tiges végétantes. C'est très-probablement à cause de cela que les mérithalles cellulaires de ces *tigellules* transversales, auxquels la séve arrive, pour ainsi dire, *à rebours*, meurent lorsqu'ils sont refoulés vers le dehors à une certaine distance du lieu où se trouve cette séve nourricière, laquelle alors ne leur parvient plus. Le fait de cet accroissement des séries rectilignes de cellules, par production de nouvelles cellules à leur extrémité végétante, est le premier qu'ait donné l'observation pour prouver, de manière à ne laisser aucun doute, que ces séries rectilignes de cellules sont de véritables *tigellules*, ainsi que l'a établi en théorie M. Turpin, depuis bien longtemps.

SECTION II.

DE L'ACCROISSEMENT DES VÉGÉTAUX EN LONGUEUR.

L'accroissement des végétaux en longueur se fait suivant les deux directions opposées des tiges et des racines.

Je commence cette étude par les racines, dont je rechercherai premièrement l'origine.

Ce serait probablement en vain qu'on chercherait à voir le mode d'origine des racines chez les végétaux dicotylédons. Ces végétaux, doués d'une organisation dense, d'une texture serrée, laissent difficilement pénétrer l'observateur dans les mystères de leur organisation. Il n'en est pas de même de la plupart des végétaux monocotylédons. Leur organisation permet d'apercevoir avec assez de facilité des phénomènes tout à fait inapercevables chez les premiers. Ainsi l'origine des racines m'a été dévoilée par plusieurs végétaux monocotylédons, et entre autres par le *nymphea lutea* et le *sparganium erectum*.

La tige submergée du *nymphea* est couchée : les racines qui la fixent dans la vase naissent à sa partie inférieure ; sa périphérie est marquée par les nombreuses cicatrices produites par la chute des feuilles des années précédentes. Si l'on examine l'intérieur de cette tige, on voit qu'elle est composée d'un système cortical fort mince et demi-transparent, et d'un système central formé par un tissu cellulaire blanc, dans lequel existent des faisceaux de tubes séveux irrégulièrement flexueux. Ces faisceaux de tubes séveux sont enveloppés chacun par une couche d'une substance jaune et demi-transparente. Chacune des racines du *nymphea* correspond constamment à l'un de ces faisceaux de tubes séveux, lequel est toujours bifurqué à l'origine de la racine, ainsi que cela se voit en *a* dans la figure 3, planche 4. Ce faisceau de tubes séveux, appartenant au système central de la tige, occupe dans toute sa longueur le centre de la racine *e*, dont il forme le système central. Autour de celui-ci existe le système cortical de la racine *d*, qui est composée d'une multitude de tubes longitudinaux qui aboutissent inférieurement à un plateau *f*, qui les sépare du tissu cellulaire central de la tige *c*. Les radicelles partent du système central de la racine et traversent, avant de se montrer en dehors, toute l'épaisseur du système cortical. Cherchons actuellement quelle est l'origine de cette racine. Pour y parvenir, le meilleur moyen est de faire une multitude de coupes transversales sur la tige, surtout aux endroits où l'on aperçoit de petits tubercules. De cette manière, on finit par rencontrer des racines naissantes ; l'on peut reconnaître ainsi le mode de leur origine et suivre le progrès de leur accroissement.

Les premiers rudiments observables de la racine consistent en un faisceau de tubes séveux du système central, faisceau qui se ploie et forme un coude dans le voisinage du système cortical, ainsi qu'on le voit dans la figure 1, *a*. Lorsque ce faisceau coudé approche du système cortical, il se manifeste dans ce dernier une production ronde, aplatie, formant une sorte de calotte. On voit cette calotte orbiculaire en *b* ; elle est recouverte par l'écorce de la tige *c*. En poursuivant ce genre de recherches, par le moyen que j'ai indiqué, on rencontre des racines naissantes qui offrent des degrés de développement plus avancés. Ainsi l'on voit que le faisceau de tubes séveux coudés *a* touche à la calotte, dans l'intérieur de laquelle on aperçoit des stries qui sont les rudiments des tubes corticaux dont j'ai parlé plus haut. En continuant cette recherche, on voit que le faisceau de tubes séveux coudés *a*, continuant à s'allonger, pénètre dans l'intérieur de la calotte *b*, qui lui sert pour ainsi dire de coiffe (fig. 2). Alors la racine pointe en dehors ; elle a rompu l'écorce de la tige qui la recouvrait. Cette racine naissante, continuant de s'accroître, devient une racine parfaite. La fig. 3 représente la coupe longitudinale d'une portion de cette racine ; *c* système central de la tige ; *b* système cortical ; *a e* faisceau coudé de tubes séveux qui forme le système central de la racine ; *d* tubes longitudinaux dont l'assemblage forme le système cortical de la racine ; *f* plateau où se fait l'insertion des tubes corticaux de la racine. Ainsi, la racine du *nymphea* tire son origine d'un faisceau de tubes séveux du système central de la tige, faisceau qui s'étant ployé en coude dans le voisinage de l'écorce, y a déterminé par son approche la formation d'une calotte corticale sous-jacente à l'écorce de la tige et destinée à former le système cortical de la racine. Le faisceau coudé de tubes séveux a pénétré dans l'intérieur de cette calotte corticale et en est devenu le système central.

Cette observation nous apprend : 1° que les systèmes central et cortical de la racine sont primitivement isolés ; ils existent tous les deux avant de former un tout organique par leur assemblage ; 2° que le système central pénètre dans l'intérieur du système cortical ; 3° que le système cortical de la racine se forme au-dessous de l'écorce de la tige, de sorte que la racine perce cette écorce pour se produire au dehors et se trouve ainsi *coléorhizée*.

Les tiges du *nymphea* n'ont qu'un pe-

tit nombre de racines, et cependant la nature tend presque continuellement à en produire de nouvelles : mais ces racines naissantes avortent souvent. On trouve, à la partie inférieure de la tige couchée du *nymphea*, une assez grande quantité de petits tubercules noirs; ce sont des racines mortes au moment de se produire au dehors et dont l'intérieur s'est carbonisé. Il est à remarquer que chez le *nymphea*, il n'y a que les racines dont l'origine a lieu immédiatement au-dessous des feuilles qui soient douées de la faculté de se développer. Ces racines, d'abord flottantes dans l'eau, ne tardent point à s'enraciner dans la vase et ne forment point un ordre particulier de racines, comme on l'a dit. J'ignore pourquoi les racines qui naissent sur les autres parties de la tige ne se développent point et meurent; mais ces faits sont en harmonie avec ce que l'on observe dans l'embryon du *nymphea* lors de la germination. La radicule de cet embryon ne se développe pas; elle reste à l'état de simple mamelon radiculaire et meurt dans cet état; tandis que les racines adventives qui naissent au-dessous des premières feuilles se développent et fixent la plantule au sol. Les racines qui naissent au-dessous de ces feuilles ont un développement fort rapide et sont fort petites dans l'origine; celles qui naissent sur les autres parties de la tige et qui doivent rester à l'état de simples *mamelons radicellaires* se forment avec beaucoup plus de lenteur; elles prennent sous l'état de *mamelon radicellaire* plus de développement que les premières; par conséquent les phénomènes dont je viens d'exposer la succession y sont bien plus visibles.

Plusieurs autres végétaux monocotylédons m'ont offert le même mécanisme dans la formation des racines. Je me bornerai à rapporter ce que j'ai observé sur le *sparganium erectum*. Cette plante aquatique possède des tiges rampantes dans la vase et garnies de feuilles alternes qui se détruisent promptement. Dans l'aisselle de chacune de ces feuilles il existe un bourgeon. Chacune de ces tiges *b* (fig. 4, planche 4), est terminée par un renflement *a* qui porte les feuilles et la tige aérienne. Cette plante, comme beaucoup d'autres, possède deux sortes de tiges, l'une souterraine et l'autre aérienne; la tige aérienne naît toujours du bourgeon terminal *a* de la tige souterraine *b*, dont les bourgeons latéraux *c* avortent la plupart du temps. Nous verrons tout à l'heure quelle est l'origine de cette tige souterraine. Cette tige rampante est composée d'un système central brunâtre dans lequel on remarque beaucoup de tubes, et d'un système cortical de couleur blanche qui ne paraît composé que de tissu cellulaire; l'épiderme est brun-rougeâtre. Le renflement *a* (fig. 4) produit des racines à sa partie inférieure et latérale. Les couleurs tranchées des deux systèmes cortical et central permettent d'en apercevoir l'origine. On voit d'abord une petite sinuosité *d* du système central; elle correspond à une petite calotte *f* dont la couleur rougeâtre tranche vivement avec la blancheur du système cortical dans lequel elle se trouve. Bientôt la calotte rougeâtre augmente de diamètre et elle s'approche de la surface extérieure de l'écorce, suivie dans ce mouvement par la production du système central dont la pointe est enveloppée par la courbe qu'elle décrit : on voit en *h* et en *g* deux degrés différents du développement de cette racine. On ne tarde point à reconnaître que la calotte rougeâtre qui recouvre et enveloppe sa pointe est l'épiderme de l'écorce de la racine naissante; dans un degré de développement plus avancé, on voit cette dernière percer l'épiderme de l'écorce et se produire au dehors, comme on le voit en *i*. Nous trouvons dans cette observation une confirmation de ce que nous avons vu dans le *nymphea*. Le système central et le système cortical de la racine sont isolés dans le principe, et le premier pénètre dans l'intérieur du dernier. La racine naissante est de même coléorhizée, parce qu'elle naît pourvue de son écorce au-dessous de l'écorce de la tige qu'elle perce pour se produire au dehors. La couleur rougeâtre de l'épiderme sert ici à le faire

apercevoir dès l'origine. Chez les dicotylédons on n'aperçoit point de même l'isolement primitif des deux systèmes cortical et central de la racine ; mais on voit que cette dernière naît au-dessous de l'écorce, de la même manière que cela a lieu chez les monocotylédons ; en sorte que toute racine naissante est nécessairement coléorhizée. On aperçoit clairement cette disposition dans les racines des plantes herbacées qui ont un système cortical épais. Lorsque, par exemple, on plante au printemps des racines de carotte (*daucus carota*) que l'on a ôtées de terre avant l'hiver, ces racines ne tardent point à reproduire des radicelles sur un grand nombre de points de leur pourtour. On voit, en coupant la racine, ces radicelles qui percent l'épais système cortical au-dessous duquel elles sont nées; on voit qu'elles sont pourvues dès leur origine d'un système cortical particulier; en sorte que, pour se produire au dehors, elles percent de vive force toute l'épaisseur du système cortical de la racine-mère. La gaîne corticale qu'elles se forment dans ce trajet est leur coléorhize. Cette gaîne corticale est quelquefois assez facile à apercevoir sur les boutures des végétaux ligneux. On la voit, par exemple, avec beaucoup de facilité sur le *rubus fruticosus*. On sait que ce végétal ligneux produit de longues tiges qui s'enracinent par leur extrémité, lorsque celle-ci vient à toucher la terre. On peut, à l'œil nu, voir les coléorhizes des racines qui naissent dans cet endroit. A l'aide de la dissection et de la loupe on voit les racines naissantes au-dessous de l'écorce de la tige qu'elles soulèvent avant de la rompre pour se produire au dehors. La coléorhize des racines naissantes est également très-facile à voir chez le *phaseolus vulgaris*, le *pisum sativum*, le *vicia faba*, etc. Il résulte de ces faits que les racines, soit qu'elles partent de la tige, soit qu'elles émanent de plus grosses racines, sont toujours coléorhizées, c'est-à-dire qu'elles percent de vive force l'écorce au-dessous de laquelle elles sont formées et qui leur sert de gaîne. Le plus ordinairement elles contractent promptement adhérence avec cette gaîne ou coléorhize : ce qui empêche souvent de l'apercevoir [1].

C'est exclusivement par leur pointe que les racines croissent en longueur, ainsi que le dit Duhamel; on peut s'en assurer en faisant développer les racines d'une plante dans l'eau. Si l'on place un fil en ligature près de la pointe et un autre fil plus haut, ces deux ligatures conserveront toujours la même distance; ainsi l'élongation de la racine ne s'opère que par l'organe qui la termine. Cet organe, qui a reçu de M. de Candolle le nom de *spongiole*, étant observé à la loupe, offre une partie terminale qui est transparente; c'est le système cortical qui enveloppe en le dépassant le système central, de même terminé en pointe et reconnaissable à son opacité. C'est donc par cette pointe que le système central et le système cortical s'allongent progressivement. Le mécanisme de cette élongation n'est point possible à apercevoir. Dans la théorie que je viens d'établir les racines ne peuvent naître sans la coopération des deux systèmes cortical et central de la tige ou de la racine-mère. Cependant une observation due à M. Turpin, semble, au premier coup d'œil, infirmer cette assertion [2]. Cet observateur a vu des racines sortir de plusieurs points de la section transversale d'un tubercule de la patate (*convolvulus batatas*). Ce fait, en apparence paradoxal, se rattache immédiatement aux observations qui ont été exposées plus haut. On a vu en effet que les tiges très-abondantes en tissu cellulaire, telles que les branches fructifères du poirier, étaient

[1] M. Auguste de Saint-Hilaire, dans son mémoire intitulé : *Examen du genre Ceratocephalus, etc.*, a cité un assez grand nombre de plantes dont les racines secondaires offrent une coléorhize à leur origine. Voy. les Ann. du Mus. d'hist. nat. t. XIX, p. 467.

[2] Sur l'organisation des tubercules du *Solanum tuberosum, etc.* Dans les Mémoires du Muséum d'histoire naturelle, 1829.

susceptibles de cicatriser les plaies qui leur sont faites par une section transversale au moyen de la production d'un épiderme sur la surface de cette section; on a vu ensuite que la médulle centrale immédiatement située sous cet épiderme de la cicatrice se métamorphosait en médulle corticale, en sorte que le système cortical se trouvait reproduit sur la surface de la section transversale de la tige abondante en tissu cellulaire. Or, il est indubitable que les mêmes phénomènes de cicatrisation et de reproduction d'écorce ont eu lieu sur la section transversale du tubercule de patate observé par M. Turpin, et que c'est conséquemment à cette reproduction d'écorce que des racines sont nées sur la surface de cette section transversale : j'ai observé cette même cicatrisation sur un tubercule de *solanum tuberosum* que j'avais tronqué, mais je n'ai point vu cette surface cicatrisée produire des racines. On vient de voir l'origine de la racine, je vais actuellement essayer de remonter à l'origine de la tige.

La pointe de la racine est un petit cône d'une seule pièce, le bourgeon est de même un petit cône, mais il est composé de plusieurs pièces ou lames qui se recouvrent les unes les autres, et qui sont les rudiments des feuilles, lesquelles doivent se développer et s'étaler dans le milieu qu'habite la plante, c'est-à-dire dans l'air ou dans l'eau, pour y remplir les fonctions qui leur sont départies.

La tige de tous les végétaux phanérogames et de beaucoup de cryptogames est pourvue de feuilles. Il n'existe, à cet égard, que des exceptions apparentes. C'est, par exemple, l'extrême petitesse de ces organes qui a fait croire que la cuscute (*cuscuta europæa*) en était dépourvue. Cette plante possède une feuille rudimentaire à la naissance de chacun de ses rameaux.

L'origine de toutes les feuilles n'est point la même; quelques-unes doivent leur origine à une rupture du tissu végétal; d'autres sont les produits d'un développement végétatif particulier : c'est ce que l'on va voir par l'étude de l'origine des feuilles chez plusieurs végétaux.

Le *sparganium erectum*, ainsi que je l'ai dit plus haut, possède des tiges souterraines, munies de feuilles et de bourgeons alternes. Ces tiges se terminent par un renflement (*a* fig. 4, pl. 4), lequel porte un gros bourgeon à feuilles et à tiges aériennes. Dans les aisselles des feuilles de ce gros bourgeon aérien il se développe de chaque côté des bourgeons à tige souterraine, dont voici l'origine et le développement. On remarque d'abord une petite saillie *n* du système central, saillie qui correspond par son sommet à une petite calotte hémisphérique de couleur jaunâtre et composée de couches concentriques *m*; ces deux parties composent, par leur assemblage, un bourgeon naissant contenant déjà dans son intérieur plusieurs mérithalles successifs encore à l'état rudimentaire, ainsi qu'on va le voir par son développement subséquent. Ce bourgeon, placé dans l'intervalle qui sépare deux des feuilles de la tige aérienne, presse par son développement la plus extérieure de ces feuilles *k* et en perce de vive force toute l'épaisseur; bientôt ce bourgeon, destiné à donner naissance à une tige souterraine, prend un accroissement assez considérable : il est de couleur rose, lisse et pointu par son extrémité : en le disséquant avec soin, on voit que les couches concentriques dont son sommet était primitivement composé, sont devenues de petites enveloppes coniques sans aucune ouverture, semblables à des éteignoirs contenus les uns dans les autres *o*. M. de Mirbel a donné le nom de *piléole* à une enveloppe pareille qu'il a observée recouvrant la gemmule dans la graine des graminées et des cypéracées. C'est sous ce même nom que je désignerai, dans le bourgeon, les petits cônes dont il est ici question.

Le bourgeon souterrain ayant acquis une longueur d'environ deux centimètres, la piléole la plus extérieure s'ouvre par sa pointe, et bientôt après se fend longitudinalement par l'effet de la pression qu'exerce contre ses parois intérieures la seconde piléole qui tend à se produire au dehors; celle-ci, après son issue, forme

à son tour l'extrémité de la tige souterraine naissante. La première piléole déchirée latéralement, mais non jusqu'à sa base, devient la feuille engaînante du mérithalle qu'elle renfermait. Bientôt après la seconde piléole se déchire à son tour, pressée par le développement des piléoles qu'elle recouvre. La scissure latérale de cette seconde piléole a lieu dans un sens diamétralement opposé à celui dans lequel s'est opérée la scissure de la première; elle devient la feuille engaînante du second mérithalle; elle est alterne par sa position avec celle du mérithalle précédent. Les piléoles contenues les unes dans les autres continuent ainsi de se développer avec leurs mérithalles respectifs; elles sortent successivement de l'intérieur de celles qui les précèdent, et leur scissure latérale, dans des sens alternativement opposés, en fait des feuilles engaînantes alternes. Lorsque la tige a acquis une certaine longueur, on cesse d'apercevoir des piléoles dans son intérieur : on n'y voit que des feuilles toutes formées; mais la transition des piléoles aux feuilles rudimentaires toutes formées dans le bourgeon, est perceptible pour l'œil de l'observateur. J'ai observé jusqu'à douze piléoles successives et parfaitement closes, dont la déchirure latérale a fait des feuilles alternes. Aux piléoles complétement fermées succèdent une ou deux piléoles incomplètes qui présentent à leur sommet une ouverture dirigée latéralement, et qui paraît s'être faite spontanément; car il est évident qu'elle n'est point le résultat d'une déchirure opérée de vive force par le développement des piléoles situées au-dessous, comme cela avait lieu pour les premières piléoles. A ces piléoles incomplètes succèdent des piléoles fendues spontanément dans toute leur longueur, c'est-à-dire des feuilles toutes formées dans le bourgeon. Celles-ci sont destinées à se développer dans l'atmosphère. Elles sont assises sur le renflement *a*, que forme à son extrémité la tige souterraine parvenue au terme de son accroissement. Ainsi, il n'existe véritablement aucune différence d'origine entre les feuilles souterraines et les feuilles aériennes du *sparganium erectum;* les premières naissent de piléoles déchirées latéralement de vive force, les secondes naissent de piléoles fendues spontanément. Les feuilles souterraines ensevelies dans la vase ne tardent point à se pourrir, et les bourgeons situés dans leur aisselle restent à découvert, ainsi qu'on le voit en *c*.

Il résulte de ces observations, que chacun des mérithalles successivement produits par la tige dans son élongation, possède dans l'origine une enveloppe dans laquelle il est complétement renfermé, lui et toute la série des mérithalles rudimentaires qui doivent naître de lui. Cette enveloppe, qui est la piléole, peut ainsi être considérée comme une *enveloppe embryonnaire*, en considérant le mérithalle naissant qu'elle enveloppe comme un embryon végétal, déjà chargé à son extrémité de plusieurs générations successives et rudimentaires d'embryons mérithalles, qui ont de même chacun leur piléole ou leur enveloppe embryonnaire particulière. Le bourgeon en évolution n'est ainsi qu'une série d'embryons mérithalles, successivement produits par *génération gemmaire*. La génération de ces embryons gemmaires se rattache de très-près à la génération des embryons séminaux, comme le prouve l'observation suivante. On connaît cette variété d'ail qui porte le nom de *rocambole* (*allium scorodoprasum*). Cette plante renferme, dans sa spathe terminale, des bulbilles en place de graines, dont elles sont évidemment une transformation. Ces bulbilles sont soudées à la plante-mère, avec laquelle elles forment un tout organique continu. J'ai observé une tige de cet ail, dont toutes les bulbilles avaient avorté, à l'exception d'une seule, laquelle disposant ainsi à son profit de toute la nourriture que pouvait fournir la plante-mère, s'était développée de manière à former une nouvelle tige, qui portait à son sommet une seconde spathe remplie de bulbilles. Cette nouvelle tige, continue avec l'ancienne, formait ainsi un véritable *mérithalle nouveau*. La spathe qui enveloppait ce mérithalle lorsqu'il était *bulbille,* et qui était alors

une véritable *enveloppe embryonnaire*, était devenue persistante et s'était développée en une véritable feuille caulinaire, laquelle était évidemment analogue aux feuilles que l'on vient de voir naître des *piléoles* dans les tiges souterraines du *sparganium erectum*. Ces piléoles sont donc aussi des enveloppes embryonnaires; les mérithalles successifs sont donc aussi des êtres distincts et individuels, issus les uns des autres par un mode particulier de génération; ce sont, dans l'origine, de véritables *embryons végétaux*, qui ont chacun leur enveloppe embryonnaire particulière, laquelle se développe subséquemment sous forme de feuille. Cette *feuille embryonnaire* n'a jamais de pétiole; elle embrasse le mérithalle qu'elle enveloppait originairement, et à la base duquel elle est toujours située. Or, il existe une autre sorte de feuille, très-différente de la *feuille embryonnaire* par son origine et par sa position; elle naît toujours au sommet du mérithalle, dont elle est la continuation ou la dernière extrémité végétante. Cette disposition différente des deux espèces de feuilles est très-facile à voir chez le *potamogeton natans* (fig. 5, pl. 4.) Les tiges souterraines de cette plante, c'est-à-dire celles qui rampent dans la vase, ne possèdent qu'une seule espèce de feuille; c'est celle qui, dans l'origine, a la forme de piléole, enveloppant le bourgeon, et qui devient par sa scissure une *feuille embryonnaire*; *a a*, sont ces premières feuilles, véritables enveloppes embryonnaires des mérithalles qui émargent de leur intérieur. Au sommet du mérithalle *b*, qui commence à sortir de la vase, on voit un petit mamelon *c*, qui est le rudiment avorté d'une feuille pétiolée. Ce rudiment manque tout à fait au sommet *e* du mérithalle souterrain *s*. Le mérithalle *d* offre à son sommet un simple filet pétiolaire *f*. Enfin, le mérithalle *g* possède à son sommet une feuille complète *h*, dont le limbe flotte sur la surface de l'eau. Les mérithalles suivants possèdent des feuilles semblables, et ils conservent tous en outre leur feuille embryonnaire, qui est fort grande et qui ne reste pas très-longtemps vivante. Les botanistes ont désigné cette feuille embryonnaire sous le nom de *stipule caulinaire* chez le *potamogeton natans*, et ce n'est pas sans raison; car il est bien certain que toutes les stipules naissent d'une dégénérescence ou d'une métamorphose de cette feuille embryonnaire, qui sert d'enveloppe au jeune mérithalle dans le bourgeon. Cette feuille embryonnaire n'est pas toujours visible, parce qu'elle disparaît souvent dans le bourgeon même. C'est elle qui forme cette coiffe membraneuse si remarquable par sa grandeur, qui enveloppe les sommités des tiges naissantes de la rhubarbe (*rheum palmatum*). Ainsi, la feuille embryonnaire *a'* appartient à la base du mérithalle *g*, qu'elle enveloppait entièrement à sa naissance; la feuille *proprement dite h* appartient au sommet du même mérithalle, dont elle est la terminaison. Cette dernière feuille est donc une sorte de rameau, lequel a cela de particulier, qu'il ne forme point une tige complète, mais seulement un *segment de tige*. On peut s'assurer de ce fait en observant au microscope la coupe transversale d'un pétiole, tel, par exemple, que celui de la feuille de la bourrache (*borago officinalis*). J'ai représenté cette coupe transversale dans la figure 6, planche 4. On y remarque de 9 à 11 faisceaux de tubes, rangés en demi-cercle et séparés les uns des autres par le tissu cellulaire qui occupe le reste de la masse du pétiole. M. Henri Cassini [1] a découvert ce fait important, que le tissu cellulaire de la partie supérieure *a a* du pétiole est continu avec la moelle de la tige, et que le tissu cellulaire de la partie inférieure *b b* de ce même pétiole est continu avec l'écorce de la tige. J'ai vérifié soigneusement cette assertion, et j'ai acquis la certitude de son exacte vérité. Les faisceaux de tubes, rangés en demi-cercle, sont continus avec l'étui médullaire de la tige. Il résulte de cet ensemble de faits que le demi-cercle de faisceaux de tubes est véritablement un segment d'étui médullaire, que le tissu cel-

[1] Observations anatomiques sur la bourrache.

lulaire supérieur *a a* est un segment de moelle ou de médulle centrale, et que le tissu cellulaire inférieur *b b* est un segment d'écorce ou de médulle corticale, en sorte qu'il demeure démontré que le pétiole est un segment de tige; il en est par conséquent de même de la feuille, qui n'est qu'une expansion ramifiée de ce pétiole. Le parenchyme de la face supérieure de cette feuille appartient à la médulle centrale, et le parenchyme de la face inférieure appartient à la médulle corticale.

Ce fait important, que le pétiole est un segment longitudinal de tige, se voit encore mieux peut-être dans la structure anatomique du pétiole de la feuille de certains arbres. Je donne ici pour exemple le pétiole de la feuille du pommier, pétiole dont la figure 7 (planche 4) offre la coupe transversale. On y voit de la manière la plus évidente une moitié longitudinale de tige dicotylédone ligneuse. *b* est le corps ligneux pourvu de ses rayons médullaires, auxquels sont intercalés les tubes séveux et pneumatiques; ce corps ligneux, dont la coupe transversale offre la forme d'un croissant, est évidemment la moitié d'un corps ligneux complet, tel qu'il existe dans une tige. Dans la concavité *a* de ce croissant, se trouve la moelle, sa partie convexe est recouverte par l'écorce *c d*, laquelle offre en dehors sa couche médullaire *d*, et en dedans sa couche fibreuse *c*, dont la distinction est ici très-visible. Chez certains végétaux, les deux cornes du croissant ligneux se portent l'une vers l'autre et se soudent incomplétement, comme cela a lieu, par exemple, dans le pétiole du haricot (planche 16, fig. 1); d'autres fois, cette soudure est complète, ainsi que cela a lieu dans le pétiole de la sensitive (planche 16, fig. 3); alors la moelle se trouve tout à fait enveloppée par la couche ligneuse du pétiole, lequel offre l'apparence d'une tige complète.

Il est facile de voir pourquoi le pétiole n'est qu'une moitié longitudinale de tige, en se reportant à l'observation du *potamogeton natans* que représente la fig. 5, pl. 4. On y voit qu'il n'y a qu'une seule des deux moitiés longitudinales du mérithalle *g* qui a concouru à la formation de la feuille *h* et de son pétiole : ce dernier est la continuation de la moitié seulement du sommet de ce mérithalle *g*; l'autre moitié de ce sommet est occupée par l'insertion du mérithalle supérieur *i*, mérithalle formé par génération et soudé au mérithalle générateur *g*, sur la moitié seulement de son sommet.

Ainsi, il existe véritablement deux sortes de feuilles très-différentes par leur origine, savoir : 1° la *feuille embryonnaire*, que l'on peut nommer aussi *feuille stipule*, parce que c'est cette sorte de feuille qui donne naissance aux stipules. Cette feuille tire son origine de l'enveloppe embryonnaire du mérithalle, elle est toujours sessile; 2° la *feuille terminale du mérithalle*; cette feuille, tantôt pétiolée, tantôt sessile, tire son origine du développement d'un segment longitudinal de tige : c'est véritablement un rameau incomplet et aplati pour former le limbe. Quelques botanistes, frappés de la simultanéité de l'existence de ces deux sortes de feuilles, chez certains végétaux, ont pris le parti de ne considérer comme *feuille*, dans cette circonstance, que les seules *feuilles stipules*. Cette distinction, qui appartient primitivement à Ramathuel, a depuis été reproduite par M. de Tristan [1], qui a avancé que les organes caulinaires des asperges et du *ruscus aculeatus*, qui portent le nom de *feuilles*, sont des *rameaux avortés* : il donne à ces organes caulinaires foliacés, le nom de *ramules*, réservant le nom de *feuilles* aux squammes membraneuses, placées le long de la tige et à l'origine des rameaux. Il est bien évident, d'après ce qui vient d'être exposé, que les *ramules* de M. de Tristan sont les mêmes organes que les feuilles terminales des mérithalles *h f* (fig. 5, pl. 4) du *potamogeton natans*. Les squammes qui existent dans l'asperge à l'origine des rameaux, sont évidemment

[1] Bulletin des Sciences de la Société philomathique, 1813.

les mêmes organes que les *feuilles stipules a a* du *potamogeton natans*. Je ferai la même observation par rapport au *ruscus aculeatus*. C'est donc à tort que l'on a prétendu dépouiller de leur nom, en les nommant *phyllodes* ou *ramules*, les organes qui sont si évidemment des feuilles, puisqu'ils en ont la forme générale et la structure chez le *ruscus aculeatus*. On en doit dire autant de l'asperge, quoique ces organes n'y soient pas aplatis. Ce sont des feuilles dépourvues de limbe et réduites au seul pétiole, ainsi que cela a lieu quelquefois chez le *potamogeton natans* (planche 4, figure 5. *f*). Cette erreur est provenue de ce qu'on a méconnu l'existence des deux sortes de feuilles essentiellement différentes par le mode de leur origine et souvent par leur forme. La *feuille embryonnaire, ou feuille stipule*, tire son origine du développement de l'enveloppe embryonnaire du mérithalle, à la base duquel elle est située; la *feuille terminale du mérithalle*, que l'on peut nommer *feuille ramule*, est un segment longitudinal de tige, aplati le plus souvent pour former le limbe. Ce segment de tige tire son origine de simples protubérances, qui croissent en se ramifiant et en s'épanouissant sous une forme foliacée. L'observation du *potamogeton natans* a prouvé ce fait, que, vu son importance, je démontrerai encore par l'observation de l'*hydrocotyle vulgaris*. Cette plante aquatique possède des tiges rampantes assez grêles, dont le bourgeon ne peut être observé qu'à l'aide d'une loupe. Ce bourgeon offre des piléoles emboîtées les unes dans les autres, comme cela a lieu chez le *sparganium erectum*. Ces piléoles sont de même parfaitement closes. Ce sont les enveloppes embryonnaires de chacun des mérithalles, dont elles occupent la base et dont le sommet est occupé par une feuille à long pétiole et *peltée*, c'est-à-dire dont le pétiole est situé vers le milieu de la surface inférieure du limbe. Ainsi, on voit ici l'existence simultanée et distincte de la *feuille stipule* et de la *feuille ramule*, mais la première ne subit aucun développement; elle disparaît presque de suite et la *feuille ramule* persiste seule. Cette dernière se forme par le mécanisme que voici. Dans l'origine, elle se présente sous la forme d'une simple protubérance arrondie; plus tard, cette protubérance commence à présenter la forme d'une feuille comme on le voit dans la figure 8, planche 4; *a* pétiole fort court et relativement fort gros; *b* lobe antérieur; *c c* lobes latéraux, nés postérieurement au lobe antérieur, comme on en peut juger à leur moindre développement; *d d* petites protubérances qui sont les rudiments de nouveaux lobes latéraux. Cette feuille naissante, observée dans un degré de développement plus avancé, se présente telle qu'elle est représentée par la fig. 9. Le limbe de la feuille est ici composé de neuf lobes, disposés circulairement autour du pétiole. Huit de ces lobes sont nés successivement par paires, à droite et à gauche du lobe antérieur *b*. Ces lobes sont confluents à leur base, en sorte qu'ils correspondent tous à une petite portion du limbe, qui est située au sommet du pétiole. C'est cette portion commune et centrale qui prend spécialement du développement, et il en résulte la formation de la feuille peltée (figure 10), dont les crénelures sont engendrées par les lobes que présente la feuille dans son état primitif. Cette feuille, entièrement produite par des ramifications issues de petites protubérances, est véritablement une *feuille ramule*.

Ces observations fournissent des données précieuses pour l'organogénie végétale; elles prouvent, en effet, que les feuilles n'existent point toutes formées à l'état de *germes*, mais que ces organes sont formés par l'acte de la végétation. Les *feuilles stipules* naissent de la scissure latérale d'une enveloppe membraneuse conique, scissure qui arrive du côté où cette membrane éprouve une sorte d'atrophie par l'effet d'une cause organique constante. Cette enveloppe ainsi atrophiée d'un côté, et fortement nourrie du côté opposé, devient par sa scissure un segment de cône creux pourvu de deux parties latérales minces, qui se rapportent

de part et d'autre à une partie centrale plus épaisse, en sorte que la feuille devient un organe *symétrique binaire.* Les *feuilles ramules* naissent toutes du développement végétatif de petites protubérances qui ne possèdent rien de la forme qu'offrira la feuille complétement formée. Ces protubérances sont des développements de segments de tige, et cela indique pourquoi elles produisent des organes *symétriques binaires;* la tige qui est cylindrique possède la *forme circulaire;* le segment longitudinal d'un cylindre perd cette forme circulaire et prend la *forme symétrique binaire*, car il se trouve composé de deux parties latérales semblables: le développement de ce segment de tige cylindrique produira donc nécessairement un organe à *parties doubles*, c'est-à-dire qui possédera la *forme symétrique binaire.*

Les organes végétaux voisins les uns des autres tendent généralement à se souder. Or, la *feuille ramule* qui termine le mérithalle inférieur étant contiguë à la *feuille stipule* qui sert d'enveloppe embryonnaire au mérithalle supérieur, il doit arriver très-souvent que ces deux feuilles se soudent et se confondent en un seul organe foliacé. C'est ce qui me paraît avoir lieu dans les feuilles d'une immense quantité de végétaux. Les feuilles des *magnolia* et celles du *liriodendrum tulipifera*, par exemple, sont bien certainement des *feuilles ramules* et les pérules qui renferment complétement ces feuilles dans l'origine, sont des *feuilles stipules* dont la scissure en deux pièces forme les deux stipules qui sont soudées à la base du pétiole. C'est par cette même soudure de la *feuille stipule* avec la *feuille ramule*, que celle-ci est souvent amplexicaule. Cette soudure et cette confusion de ces deux sortes de feuilles m'avaient fait croire autrefois que la feuille stipule pouvait se ramifier et devenir une feuille composée, mais cela me paraît aujourd'hui fort douteux; quoiqu'à dire vrai cela ne soit pas impossible, car la cause qui opère le développement en ramifications de la feuille ramule peut agir de même sur la nervure médiane de la feuille stipule [1].

Les feuilles de la majeure partie des végétaux sont des *feuilles ramules;* les *feuilles embryonnaires*, ou *feuilles stipules*, avortent presque constamment ou ne prennent qu'un faible développement pour former les appendices foliacés *qui* portent le nom spécial de *stipules.* La *feuille embryonnaire,* étant un organe qui appartient aux embryons végétaux, produits par gemmation, ne doit tendre à devenir persistante que chez les végétaux qui offrent pendant toute leur vie, la persistance de l'état d'enfance végétale. On a vu plus haut que c'est cette persistance de l'état d'enfance végétale qui caractérise spécialement les végétaux monocotylédons. Or il est fort remarquable que c'est exclusivement chez ces végétaux que la *feuille embryonnaire* ou *feuille stipule* se présente avec un grand développement. Dans plusieurs familles de cette classe la feuille stipule existe même seule; la feuille ramule est tout à fait absente. Ainsi les graminées, les cypéracées, les typhinées, les alliacées, etc., ne possèdent que la seule *feuille stipule*, ou *feuille embryonnaire.* Cette feuille existe concomitamment avec la feuille ramule, chez les asparaginées, les smilacées, les fluviales, etc. Ce fait du développement considérable et quelquefois de l'existence exclusive de la *feuille embryonnaire* chez les plantes monocotylédones, confirme ce qui a été avancé plus

[1] C'est en 1820 que j'ai publié les observations qui m'ont prouvé que les stipules naissent de la scissure de l'enveloppe originairement close du bourgeon, enveloppe qui très-souvent se développe en feuille; en faisant voir alors que souvent aussi la feuille est un rameau changé de forme, j'ai démontré par cela même l'analogie de son pétiole avec la tige. Voyez le tome VIII des Mémoires du Muséum d'histoire naturelle, page 23 et suivantes. Je fais ici cette remarque pour éviter que quelqu'un ne vienne à penser que j'ai emprunté ces idées à un ouvrage récent.

haut, touchant la persistance de l'état d'enfance végétale chez ces plantes.

J'ai noté plus haut ce fait important, que dans les bourgeons qui terminent les tiges de tous les végétaux, les vaisseaux pétiolaires des nouvelles feuilles prennent leur origine *en dedans* des vaisseaux pétiolaires des feuilles plus anciennes, c'est-à-dire toujours dans le voisinage du centre de la tige, centre duquel les vaisseaux pétiolaires des feuilles anciennes étaient les plus voisines avant cette interposition des vaisseaux pétiolaires des feuilles nouvelles. Ainsi les étuis médullaires des mérithalles successifs sont emboîtés les uns dans les autres, de manière que les plus nouveaux sortent de l'intérieur des plus anciens. Nous trouvons la cause de cette disposition organique dans le mode de la production des nouveaux mérithalles au sommet des tiges. Chaque mérithalle nouvellement produit par *génération gemmaire*, s'implante par adhérence sur une partie du sommet du mérithalle générateur, et cette partie de la tige du mérithalle se trouve oblitérée; le segment unique, ou les segments multiples qui restent de cette tige sont rejetés au dehors où leur développement forme les feuilles ramules, qui sont la terminaison des vaisseaux du mérithalle. On conçoit alors comment il se fait que le mérithalle nouvellement produit implante ses vaisseaux *en dedans* de ceux qui appartiennent au mérithalle générateur, lequel est ainsi toujours *endogène*. Il n'existe donc point de végétaux *exogènes* sous le point de vue de la production des nouvelles feuilles ou des nouveaux mérithalles. Cette expression par laquelle on a désigné les végétaux dicotylédons ne peut s'appliquer qu'à la faculté que possède le système central de ces végétaux de s'accroître en diamètre par une production nouvelle qui s'ajoute à la partie extérieure de ce système; le système cortical de ces mêmes végétaux s'accroissant en diamètre par une production nouvelle qui s'ajoute à la partie intérieure de ce système, on pourrait considérer celui-ci comme *endogène*, en sorte que le végétal dicotylédon serait *exogène* par son système central, et *endogène* par son système cortical. Ici il ne s'agit, comme on le voit, que de l'accroissement en diamètre; or la dénomination de végétaux *endogènes* a été donnée aux végétaux monocotylédons, par la considération de l'accroissement de leur bourgeon qui opère la multiplication de ses feuilles par le centre, ou par *le dedans* du végétal. On ne s'était point encore aperçu de cette vérité que j'ai annoncée le premier, que l'accroissement du bourgeon est exactement le même chez les monocotylédons et chez les dicotylédons, et que ces deux classes de végétaux sont par conséquent également *endogènes* sous le rapport des nouvelles productions du bourgeon. En opposant ces deux classes de végétaux l'une à l'autre sous le rapport de la *génération interne*, ou de la *génération externe* de leurs parties nouvelles, on ne s'est pas aperçu que l'on mettait en parallèle deux phénomènes tout à fait dissemblables, savoir : l'accroissement du bourgeon des monocotylédons et l'accroissement en diamètre du système central des dicotylédons. La cause qui a pu porter à associer par opposition deux phénomènes aussi différents, s'aperçoit facilement. L'élongation terminale opérée par le développement du bourgeon est d'une extrême lenteur chez certains végétaux monocotylédons, tels que les palmiers; cependant cela n'empêche pas les feuilles nouvelles de se multiplier, et l'interposition centrale de leurs vaisseaux pétiolaires augmente progressivement le volume du bourgeon, et par conséquent le diamètre du sommet de la tige qu'occupe ce bourgeon. Voilà donc un accroissement du diamètre de la tige opéré par une production centrale de parties nouvelles. D'après cette considération, et faute d'un examen assez approfondi, on a opposé les monocotylédons qui s'accroissent en diamètre par production centrale de parties nouvelles aux dicotylédons qui s'accroissent en diamètre par production de parties nouvelles à la circonférence de leur système central; l'accroissement en diamètre du système cortical de ces der-

niers n'était point ici pris en considération, en sorte qu'il ne restait à l'observateur que deux phénomènes d'accroissement en diamètre qui devaient lui paraître dans un état d'opposition manifeste : mais l'observation attentive prouve qu'il n'en est point ainsi. L'accroissement local en diamètre des tiges de quelques monocotylédons; par l'accroissement central de leur bourgeon terminal, n'est point comparable par opposition à l'accroissement en diamètre des tiges des dicotylédons par la formation des nouvelles couches centrale et corticale. Si les tiges des dicotylédons ne s'accroissent point en diamètre par l'accroissement central de leur bourgeon terminal, cela provient uniquement de la rapidité de l'élongation terminale des tiges de ces végétaux. Les feuilles étant rapidement portées à des hauteurs successives par cette élongation, les vaisseaux qui, dans la tige, correspondent à leurs pétioles, sont employés à former par leur assemblage des tiges plus ou moins grêles; si cette élongation terminale avait été d'une extrême lenteur, ces mêmes vaisseaux seraient restés au centre du bourgeon gros et trapu, et auraient augmenté son diamètre : c'est ce qui a lieu chez certains dicotylédons, tel que la joubarbe en arbre (*sempervivum arboreum*). Ce phénomène n'est donc pas exclusivement propre aux monocotylédons. Bien plus, il est quelques-uns de ces derniers dont l'élongation terminale opérée par le bourgeon est très-rapide, alors il n'y a plus d'augmentation du diamètre de la tige par l'accroissement central du bourgeon terminal; tel est, par exemple, le *tamus communis*. L'augmentation locale du diamètre de la tige par accroissement central du bourgeon est donc un phénomène qui dépend exclusivement de la lenteur de l'élongation terminale de cette tige; en un mot ce n'est point un phénomène que l'on puisse associer par opposition à celui de l'accroissement en diamètre par production de nouvel aubier chez les dicotylédons. Ainsi les différences tranchées, et les oppositions d'organisation que l'on avait établies entre les monocotylédons et les dicotylédons, disparaissent pour faire place à une similitude fondamentale d'organisation; il ne reste pour distinguer ces deux classes de végétaux que des différences fondées sur certaines conditions anatomiques et physiologiques *en plus* ou *en moins*. Ces deux classes paraissent séparées complétement lorsqu'on observe isolément certains végétaux chez lesquels ces différences sont au *summum;* mais une observation plus étendue fait voir qu'elles s'unissent insensiblement l'une à l'autre.

L'élongation des tiges ne s'opère pas exclusivement par le développement de leur bourgeon terminal, car on voit souvent cette élongation continuer de s'opérer lorsque le bourgeon terminal a été enlevé. Que l'on observe, par exemple, une jeune tige de vigne : on voit les mérithalles, dont elle est composée, s'accroître en longueur, et leurs extrémités, où sont situées les feuilles, s'éloigner les unes des autres. Ce phénomène, qui peut s'observer de même chez la plus grande partie des végétaux, prouve que l'élongation des tiges se rapporte à deux phénomènes différents. L'*élongation terminale* résulte de la production de mérithalles nouveaux par le bourgeon; l'*élongation intermédiaire* résulte du développement en longeur de ces mérithalles après leur formation. Je me suis assuré, par des observations positives, que cette élongation intermédiaire des mérithalles dérive de l'allongement de leurs organes vasculaires ou cellulaires, préexistants dans le jeune mérithalle; cette élongation est due par conséquent au développement des organes élémentaires dont le mérithalle est primitivement composé; il ne paraît point qu'il s'y en ajoute de nouveaux dans le sens longitudinal; cette addition de nouveaux organes élémentaires n'a lieu que dans le sens transversal pour opérer l'accroissement en diamètre, lorsqu'il existe. Il est cependant certains végétaux chez lesquels l'élongation intermédiaire est si prodigieuse, qu'il n'y a pas lieu de douter qu'elle ne s'opère, à la fois, par développement des organes élémentaires existants, et par production nouvelle de

ces mêmes organes : tels sont, par exemple, les *scirpus,* dont les tiges aériennes acquièrent quelquefois près de trois mètres de longueur, et chez lesquels cet accroissement considérable est dû tout entier à l'élongation intermédiaire, laquelle a son siége spécial dans la partie inférieure de ces tiges munies de feuilles engaînantes. Cette partie inférieure, qui est molle et blanche, s'accroît à sa base par production de nouveaux organes élémentaires, lesquels se développent ensuite. Je n'ai pu saisir le mode de la production de ces nouveaux organes élémentaires, production dont on ne peut douter en voyant que ces organes, tous cellulaires, sont d'autant plus petits qu'ils sont plus voisins du lieu d'origine de cette tige aérienne. Ce que j'expose ici relativement aux *scirpus* s'applique également aux autres plantes monocotylédones dont les tiges sont munies de feuilles engaînantes, telles que les graminées; chez ces végétaux l'élongation intermédiaire existe longtemps dans la portion de chaque mérithalle qui est enveloppée par la feuille engaînante. L'élongation intermédiaire est nulle dans les tiges de plusieurs végétaux monocotylédons; les stipes ne possèdent que la seule élongation terminale; il en est de même des tiges souterraines des *nymphea,* des *iris,* du *ruscus aculeatus,* etc. Cependant les vaisseaux ne laissent pas de s'allonger dans l'intérieur de ces dernières; mais comme ces vaisseaux sont en trop petit nombre pour déterminer l'élongation de la tige qui abonde, surtout au tissu cellulaire, ils se ploient irrégulièrement au milieu de ce dernier.

Les racines de tous les végétaux, sans aucune exception, ne possèdent que la seule élongation terminale; l'élongation intermédiaire leur est totalement étrangère. Ce fait, que les racines ne croissent en longueur que par leur pointe, a été constaté, pour la première fois, par Duhamel, et il a été vérifié depuis par tous les observateurs, et je l'ai vérifié de même. On a agité la question de savoir si les racines perdent et renouvellent, tous les ans, leur chevelu, comme les branches perdent et renouvellent leurs feuilles. J'ai trouvé la solution de cette question dans l'observation des racines de la vigne; les filaments de chevelu de ce végétal sont persistants : ce sont des radicelles qui s'allongent chaque année par la production d'une nouvelle spongiole ; en automne, la pointe de ces radicelles devient noire comme le reste de leur étendue ; la spongiole qui occupe cette pointe perd alors la délicatesse de tissu et la blancheur extérieure qu'elle avait antérieurement ; au retour du printemps une spongiole nouvelle, blanche et délicate, se développe à la pointe de la radicelle qu'elle allonge; cette pointe de la radicelle est munie d'un parenchyme cortical épais, qui ne subsiste que pendant la première année ; il pourrit et disparaît dans le cours de la seconde année, en sorte que le filament de chevelu, pourvu alors d'une nouvelle spongiole, est plus gros à sa pointe, qu'il ne l'est plus haut. Ce parenchyme cortical très-délicat qui occupe l'extérieur de la spongiole, est véritablement l'organe qui opère l'absorption de la séve. Or, l'existence de ce parenchyme cortical est temporaire et annuelle, comme l'est l'existence des feuilles. Ainsi les racines ne perdent point annuellement leur chevelu, comme l'ont pensé quelques naturalistes ; mais chaque filament de chevelu ou chaque radicelle perd annuellement la couche de parenchyme cortical délicat qui revêt la spongiole de l'année precédente, laquelle est remplacée par une spongiole nouvelle qui émerge de l'extrémité de la radicelle ; il résulte de là que la spongiole de l'année précédente devient partie intégrante du corps de la radicelle ; mais elle ne possède plus alors qu'une écorce extrêmement mince, puisque son parenchyme cortical épais a disparu par le fait de sa décomposition. Je pense que c'est en partie à la décomposition de ce parenchyme cortical des radicelles, qu'est due cette substance, en apparence excrémentitielle, que plusieurs observateurs ont remarquée autour des racines des arbres.

Les tiges et les racines qui naissent

dans l'ordre naturel ou normal ont des places assignées pour le lieu de leur origine ; les bourgeons de tige naissent dans les aisselles des feuilles ; les racines naissent dans les lenticelles. Comme les feuilles affectent constamment une disposition régulière autour de la tige, il en résulte que les rameaux, qui naissent de leurs bourgeons axillaires, doivent affecter la même régularité dans leurs positions respectives. La tige d'un végétal quelconque, considérée dans son ensemble et abstraction faite des bourgeons adventifs, offrirait un aspect parfaitement régulier, si tous les bourgeons se développaient, si toutes les branches auxquelles ils donnent naissance prenaient un accroissement semblable ou proportionnel. Mais l'avortement d'un grand nombre de bourgeons, la différence de la nutrition, qui est active dans quelques branches et languissante dans quelques autres, amènent dans la tige du végétal une irrégularité qui n'était point originaire. Les racines, au contraire, paraissent être irrégulières dans leur distribution et leurs positions respectives. Cependant j'ai observé avec Bonnet [1] que les racines du *phaseolus vulgaris* offrent de la régularité dans leur disposition. Celles qui naissent sur la racine pivotante sont toujours opposées et placées sur quatre lignes qui partagent la circonférence de cette racine en quatre parties égales. J'ai observé la même chose dans le *vicia faba*. Ce fait semblerait prouver que la production des racines est soumise à une sorte de régularité, comme l'est la production des branches.

Les botanistes, avant mes recherches à cet égard, n'avaient point suffisamment fixé leur attention sur la différence qui existe entre les racines et les tiges souterraines ; plusieurs de ces dernières étaient considérées comme de véritables racines sous les noms de *racines progressives*, de *rhizômes* et de *tubercules*. Sous cette dernière dénomination, on a confondu des renflements de racines et des renflements de tiges souterraines. Les tubercules du *solanum tuberosum*, par exemple, et ceux de l'*helianthus tuberosus*, sont incontestablement des renflements de tiges souterraines. Je croyais avoir annoncé ce fait, le premier, relativement au *solanum tuberosum* ; mais j'ai découvert que M. Knight avait fait bien longtemps avant moi cette observation [2], qui a été confirmée dernièrement par M. Turpin [3].

Les feuilles, d'abord à l'état d'extrême petitesse, parviennent par un accroissement ordinairement fort rapide à leur complet développement. J'ai fait quelques tentatives pour discerner le mécanisme de cet accroissement en observant journellement au microscope de jeunes feuilles minces et pourvues d'un peu de transparence. J'ai vu que les *aires* circonscrites par les nervures qui s'anastomosent dans divers sens, s'accroissent progressivement en surface, en sorte que les nervures s'allongent évidemment par un *accroissement intermédiaire*. Ces *aires* circonscrites par les nervures anastomosées ne contiennent que du tissu cellulaire, les nervures contiennent les vaisseaux séveux et aérifères. L'accroissement de la surface de ces aires s'opère à la fois par l'augmentation du volume de leurs cellules et par la production de cellules nouvelles. Ces dernières naissent exclusivement auprès des nervures. C'est là effectivement que l'on voit les cellules naissantes encore à l'état de globules cellulaires et d'autant plus petites qu'elles sont plus voisines de la nervure. Cette multiplication des cellules exclusivement dans le voisinage des nervures, provient de ce que c'est dans ces nervures que coule la séve nourricière qui seule est apte à fournir les matériaux de l'accroissement. Lorsque les *aires cellulaires* de la feuille naissante ont acquis une certaine étendue, on voit chacune d'elles se diviser en deux ou en trois aires par l'apparition d'une ou de deux nervures nouvelles qui se forment dans l'intérieur de l'aire primitive et qui sont anastomosées

[1] Recherches sur l'usage des feuilles.

[2] Voyez son mémoire intitulé ; *On the inverted action of the alburnous vessels of trees*, dans les Transactions philosophiques, 1806.

[3] Mémoires du Muséum d'histoire naturelle, 1829.

avec les nervures qui la circonscrivent. Avant l'apparition de ces nervures nouvelles, on n'en voyait pas le moindre vestige dans l'*aire cellulaire ;* j'ignore le mode de leur production. Ces nouvelles nervures, d'abord à peine apercevables, s'accroissent en grosseur et deviennent des centres d'accroissement pour les aires cellulaires qu'elles terminent de chaque côté.

Les végétaux croissent pendant toute la durée de leur vie ; le terme de l'accroissement paraît être constamment le terme de la vie végétale. Cependant l'accroissement éprouve chez les végétaux une suspension momentanée pendant le froid de l'hiver, sans que pour cela la mort proprement dite ait lieu ; mais alors il y a, pour ainsi dire, une mort temporaire ; le mouvement de la vie est simplement suspendu ; il se renouvelle lors du retour des circonstances favorables à son existence. Le végétal s'accroît sans cesse, soit par des productions extérieures, soit dans le tissu intime de ses parties. Le terme de l'accroissement en hauteur est fixé par le maximum de la distance qui peut exister entre les bourgeons et les racines, d'après l'organisation propre à chaque végétal. Aussi est-ce par leur cime que les arbres commencent à mourir : dès que les bourgeons terminaux cessent de pouvoir croître, les branches qui les portent meurent ; car ce sont les bourgeons croissants qui y attirent les fluides. Aussi toutes les productions végétales qui sont dépourvues de bourgeons ou d'embryons en développement meurent assez promptement. Les vrilles ou mains de la vigne meurent lorsqu'elles sont parvenues au terme de l'accroissement qu'elles sont susceptibles d'acquérir ; la chute des feuilles est déterminée par leur mort, et celle-ci paraît coïncider avec le terme de leur accroissement. Aussi voit-on beaucoup de feuilles tomber au milieu de l'été, et lorsqu'elles tombent presque toutes en automne, c'est moins le froid qui détermine leur chute que la cessation naturelle de la vie dont elles ont atteint le terme. Les feuilles des arbres résineux qui résistent à l'influence de la saison rigoureuse ne tombent qu'au terme naturel de leur vie, qui est, je pense, le même que celui de leur accroissement. Au reste ce dernier, rapide dans le principe, devient ensuite d'une lenteur telle qu'il n'est plus possible d'en constater l'existence ; mais je ne doute point qu'il ne continue d'avoir lieu jusqu'à la mort de la feuille. On sait que les ovaires meurent lorsqu'ils ne sont pas fécondés. C'est la vie des embryons qui y attire les fluides. Les ovaires cessent encore de vivre et se détachent de la plante lorsque les embryons, parvenus au terme de l'accroissement qu'ils sont susceptibles de prendre dans la graine, ont, par cela même, cessé de croître. Ces embryons cependant ne sont pas morts, dans le sens ordinaire de ce mot, mais chez eux le mouvement vital est suspendu. La vie n'existe plus chez eux à proprement parler, car la vie n'existe point sans mouvement, mais leur disposition est telle que la vie peut renaître quand ils sont rendus aux circonstances favorables à son existence. Cette suspension de la vie, chez les embryons séminaux, peut durer quelquefois un grand nombre d'années. Ce phénomène et celui de leur résurrection, peuvent, je crois, être comparés avec justesse à ceux de la mort et de la résurrection du rotifère et de certains autres animaux microscopiques.

Dans les questions d'organogénie qui se sont élevées dans ces derniers temps par rapport aux animaux, on a agité la question de savoir si le développement est *centripète* ou *centrifuge*. La même question peut être posée relativement aux végétaux, et sa solution paraît des plus faciles au premier coup d'œil. Les tiges et les racines s'accroissent en se ramifiant en sens inverse les unes des autres, et les organes nouveaux qu'elles développent s'éloignent de plus en plus du collet de la plante qui, dans cette circonstance, peut être considéré comme la partie centrale. Ainsi le développement du végétal en longueur paraît évidemment *centrifuge*. L'accroissement en diamètre, chez les arbres dicotylédons, porte sans cesse la partie extérieure de leur aubier et leur écorce à

une distance plus considérable de l'axe central du tronc. L'accroissement paraît encore ici *centrifuge*. Ces assertions qui, au premier coup d'œil, paraissent si bien fondées sont cependant renversées par un examen plus attentif. Si l'aubier du tronc s'accroît par un développement *centrifuge*, l'écorce de ce même tronc s'accroît par un développement *centripète*. Ainsi le développement *centrifuge* et le développement *centripète* existent concomitamment dans l'accroissement des tiges dicotylédones en diamètre. La projection dans deux sens opposés des ramifications des tiges et des racines semble, au premier coup d'œil, attester un double accroissement centrifuge. Or l'élongation des racines n'est point exclusivement le résultat d'un développement centrifuge; leur système central seul s'accroît à leur pointe par un développement centrifuge, le système cortical de cette pointe s'accroît comme partout ailleurs par un développement centripète. La pointe de la spongiole est en effet occupée par une écorce fort délicate qui, produite sous l'ancienne écorce qui occupait précédemment cette pointe, a percé cette dernière pour se produire en dehors, en sorte que l'accroissement en longueur de la racine est tout à fait comparable, pour son mécanisme, à l'accroissement en diamètre du tronc d'un arbre dicotylédon. Ainsi il y a encore là accroissement centripète et accroissement centrifuge. L'accroissement en longueur des tiges par production de nouveaux mérithalles, consiste véritablement dans une génération successive d'individus nouveaux qui demeurent greffés les uns sur les autres; ce n'est point, à proprement parler, un *accroissement*, mais bien une suite de générations. Or, dans chaque mérithalle nouveau, l'accroissement est essentiellement *centripète*; c'est-à-dire que c'est toujours sa partie terminale qui se développe la première. Ainsi les feuilles et les fleurs apparaissent seules dans le bourgeon, les mérithalles dont elles sont les terminaisons ne s'y voient point du tout et ne se développent que postérieurement. Chez les plantes à feuilles engaînantes, c'est spécialement par une progression centripète que chaque mérithalle s'accroît en longueur, ainsi que cela se voit dans le chaume des graminées. Ainsi le développement des jeunes mérithalles, à leur état d'embryons végétaux, est *centripète*. Il est donc vrai de dire que, généralement chez les embryons végétaux, le *développement* est *centripète*, ainsi que cela a lieu chez les embryons animaux, d'après les observations de M. Serres.

IV.

DE LA DÉVIATION

DESCENDANTE, ASCENDANTE ET LATÉRALE;

DE L'ACCROISSEMENT DES ARBRES

EN DIAMÈTRE [1].

Duhamel a fait des expériences, auxquelles il n'y a presque rien à ajouter, sur la formation des bourrelets qui tendent à remplir le vide opéré par la décortication partielle des arbres [2]. La plaie qui résulte de l'enlèvement d'une lanière longitudinale d'écorce tend à se fermer par la production de deux bourrelets latéraux qui marchent en s'accroissant l'un vers l'autre; en même temps il se forme à la partie supérieure de la plaie un autre bourrelet qui s'accroît en descendant. Un bourrelet plus petit se manifeste également à la partie inférieure de la plaie, mais il peut être rapporté à une extension des deux bourrelets latéraux. Si la décortication est pratiquée sur tout le contour de l'arbre, il se manifeste au bord supérieur de cette décortication annulaire un bourrelet descendant très-volumineux, que Duhamel a vu quelquefois descendre jusqu'à un pied et demi sur le bois dénudé, mais il n'a jamais vu de bourrelet se former, dans cette circonstance, au bord inférieur de la plaie. Ce bourrelet inférieur existe cependant quelquefois, ainsi qu'on le verra plus bas. Lors de l'enlèvement d'une lanière longitudinale d'écorce, les bourrelets latéraux qui se forment s'appliquent exactement sur le bois dénudé qui leur sert d'appui. Duhamel a voulu voir ce qui arriverait si cet appui leur manquait ; il a creusé en gouttière profonde le bois dénudé qui séparait les deux bords verticaux de la plaie. Alors les deux bourrelets latéraux, au lieu de marcher l'un vers l'autre, se sont reployés en volute vers l'intérieur, en s'enfonçant dans la gouttière qui les séparait. Or, supposons qu'à la place de cette gouttière il existe une fente verticale, et que le centre de l'arbre détruit par la pourriture ait son aubier réduit à fort peu d'épaisseur : dans cet état de choses, il se

[1] Ce mémoire, qui est le complément du précédent, a été publié en 1835 dans le tome 4 des Nouvelles Annales du Muséum d'histoire naturelle. J'y joins ici mon observation sur l'accroissement de la souche du *pinus picea*, laquelle a paru partie en 1833 et partie en 1836.

[2] Physique des arbres, livre IV, chapitre 3, article 5.

formera également des bourrelets sur les deux bords de la fente verticale, et ces bourrelets, dans leur accroissement, se recourberont dans l'intérieur de l'arbre creux, tantôt en se contournant un peu en volute, comme on le voit en *d, d'* dans la figure 1, pl. 5, tantôt en formant un simple pli, comme on le voit en *d, d'* dans la planche 6. La première de ces figures représente une portion de branche creuse de merisier (*prunus avium*). La seconde représente une partie du tronc creux d'un saule (*salix alba*). Dans l'une et dans l'autre on a enlevé la partie antérieure du corps de l'arbre pour faire voir son intérieur : *a, a*, cavité de l'arbre creux; *b*, écorce; *c*, ce qui reste de l'aubier; *e, e'*, fente verticale; *d, d'*, extensions latérales d'écorce et d'aubier, ou bourrelets issus des bords de la fente verticale, et reployés vers l'intérieur, ou vers la cavité centrale de l'arbre creux. Dans les deux exemples que je viens de citer, et dont je donne ici les figures, la fente verticale *e, e'*, de l'arbre creux ne s'étend pas dans toute sa longeur, elle s'arrête en *e'*. Dans cet endroit s'arrêtent, par conséquent, les reploiements dont il est ici question.

On conçoit facilement que ces deux portions d'écorce et d'aubier, qui sont reployées vers l'intérieur de l'arbre creux, doivent former, au point *e'* où elles finissent, deux points d'arrêt pour la séve descendante qui les parcourt de haut en bas; il doit donc y avoir dans cet endroit une augmentation de nutrition. C'est effectivement ce qui a lieu ici. De la partie inférieure *e'* des deux reploiements *d, d'* (fig 1, pl. 5), sont issues en descendant deux végétations arrondies et allongées *o, o'*, lesquelles se sont enfoncées dans l'intérieur de l'arbre creux. La coupe verticale de ces végétations descendantes me fit voir le mécanisme de leur formation. La figure 2 représente cette coupe verticale; *d, d'* sont les deux parties primitivement reployées vers l'intérieur; ces parties reployées ont continué de s'accroître en diamètre par la formation de couches successives, comme on le voit de *b* en *c*, où se trouve la coupe de l'écorce. Chacune de ces couches ligneuses successives s'est prolongée vers le bas *n, n'*, et c'est là qu'elles ont le plus d'épaisseur. Ainsi il est évident que ces végétations descendantes sont engendrées par une déviation descendante de l'accroissement de l'arbre en diamètre, et cela au moyen de la formation de couches ligneuses successives. Ces couches ligneuses sont plus épaisses à la partie inférieure *o, o'*, qu'elles ne le sont de *b* en *c*, parce que la séve nutritive descendante s'accumule dans cet endroit comme dans un double sac, et que son arrêt y détermine un excès d'accroissement.

Les reploiements en volute *d, d'* du merisier (fig. 1, pl. 5) donnent naissance à deux végétations descendantes, qui sont arrondies par leur côté qui regarde le centre de l'arbre creux, et qui, par leur côté opposé, sont aplaties et étroitement appliquées sur la paroi intérieure de l'arbre creux, sur laquelle elles se moulent. Chez le saule, les reploiements simples *d, d'* (pl. 6) donnent naissance à deux végétations descendantes *o, o'*, qui sont aplaties sur leurs deux faces opposées. Dans l'exemple qui est représenté ici, les deux végétations s'étaient étendues à plus d'un pied en descendant dans le tronc creux de l'arbre. Dans la plus grande partie de leur trajet, ces deux végétations descendantes accolées restent distinctes; elles offrent une ligne de séparation; vers le bas, ces deux végétations descendantes se soudent intimement, et n'en forment plus qu'une seule *o''*, qui est irrégulièrement demi-circulaire. Une écorce noire et rugueuse couvre ces deux végétations descendantes, dont le mode d'accroissement est exactement le même que celui qui a été décrit plus haut pour le cas représenté par les figures 1 et 2. On voit à leurs extrémités réunies *o''* les zones irrégulières qui marquent le progrès annuel de l'accroissement. Les fibres ligneuses sont dirigées selon le contour de ces zones irrégulières. Ces deux végétations descendantes sont étroitement appliquées sur la paroi intérieure de l'arbre creux,

à laquelle elles n'adhérent point, en étant séparées par de l'écorce, qui est fort mince dans cet endroit. D'ailleurs le bois de la paroi intérieure du tronc, étant frappé de mort, ne peut contracter d'adhérence organique avec les végétations descendantes qui s'appliquent sur lui. Il paraît que l'extension de ces sortes de végétations descendantes est favorisée par l'humidité qui les environne. Les saules creux dans lesquels j'ai observé ce phénomène de végétation étaient remplis de terreau humide, et c'était environnées de ce terreau que s'accroissaient ces végétations descendantes aplaties et étroitement appliquées sur la paroi intérieure de l'arbre creux, dont elles prenaient l'empreinte, comme si elles étaient formées par une coulée de matière fondue qui se fût moulée sur la paroi qu'elle recouvre. J'ai vu une de ces végétations qui descendait ainsi à plus de trois pieds dans l'intérieur d'un saule creux. Ces végétations descendantes ne sont point des racines, mais on doit convenir qu'elles s'en rapprochent beaucoup par leur mode d'accroissement et par leur progression descendante. On sait, en effet, que les racines ne s'accroissent en longueur que par le développement et l'addition de nouvelle substance organique à leur pointe ou à leur extrémité; il en est de même dans le cas curieux de végétation qui nous occupe; ce sont des couches successives qui s'ajoutent à l'extrémité inférieure des végétations descendantes dont il est ici question, qui opèrent seules leur élongation. Il est de la plus grande évidence que ces végétations descendantes sont dues à des déviations de l'accroissement de l'arbre en diamètre. C'est cet accroissement qui, au lieu de continuer à s'effectuer dans le sens horizontal, s'effectue ici accidentellement dans le sens vertical descendant, et il est favorisé par l'abondance de la séve élaborée descendante, qui s'arrête et s'accumule dans cette sorte de végétation descendante, comme elle le ferait dans un double sac.

Je viens de dire que les deux végétations descendantes, dont il est ici question, sont séparées du bois mort de l'intérieur de l'arbre creux par une écorce très-mince. On pourrait croire, d'après cela, que ces deux végétations descendantes s'accroîtraient également en diamètre par leur face qui est libre et tournée vers le centre de l'arbre creux, et par leur face qui est étroitement appliquée sur le bois mort qui forme la paroi intérieure de ce même arbre creux; or il n'en est rien. L'accroissement en diamètre est tout à fait nul sur la dernière de ces faces. L'écorce extrêmement mince y est atrophiée, et paraît frappée de mort. On en concevra facilement la raison, en pensant que la séve nutritive descendante ne trouve de voie pour sa descente que par la première des faces qui vient d'être indiquée, c'est-à-dire par la face *o o' o''* (pl. 6), dont l'écorce a une communication directe avec l'écorce des reploiements *d d'*, qui lui transmettent la séve descendante. La face de ces végétations qui est appliquée sur le bois mort de l'arbre creux, est, par sa position, tout à fait privée de communication directe avec les voies qui transmettent la séve descendante des parties supérieure de l'arbre; c'est parce qu'elle ne reçoit point cette séve nutritive qu'elle ne prend aucun accroissement en diamètre.

Le mécanisme de l'élongation et du développement des productions ligneuses descendantes, qui tendent à remplir le vide opéré par la décortication annulaire, est le même que celui qui opère l'élongation des végétations descendantes qui viennent d'être décrites. Il est de la plus grande évidence, que, dans ces deux cas, il existe de même une déviation descendante de l'accroissement en diamètre. Cette déviation est descendante dans le bourrelet supérieur, elle est ascendante dans le bourrelet inférieur qui existe quelquefois, ainsi qu'on va le voir.

Les végétations descendantes que l'on vient d'étudier offrent les mêmes éléments organiques que le bois normal. Ainsi, dans la végétation descendante dont la coupe est représentée par la figure 2, les tubes fibreux suivent la direction d'a-

bord verticale, et ensuite recourbée vers le bas, qu'on voit aux couches successives dans cette figure. Les *rayons médullaires* sont partout perpendiculaires à la direction de ces *tubes fibreux*, avec lesquels ils s'entre-croisent; en sorte qu'ils deviennent verticaux dans le bas, là où les *tubes fibreux* deviennent horizontaux.

Ordinairement cette organisation du bois se maintient sans altération dans les végétations descendantes dont il est ici question; cependant j'ai observé chez le pommier (*pyrus malus*) une exception fort remarquable à ce fait général. Lorsqu'on pratique une décortication annulaire sur une branche de cet arbre, la partie supérieure à la décortication continue de vivre pendant plusieurs années. La longue durée de la vie de la branche de pommier qui a subi cette opération, favorise le travail par lequel la nature tend à remplir le vide opéré par la décortication. J'ai observé pendant trois années l'accroissement de la végétation qui tendait à remplir ce vide. Pendant ce temps la branche s'accrut beaucoup en diamètre au-dessus de cette décortication; elle s'accrut très-faiblement en diamètre au-dessous. Je coupai cette branche pour étudier l'organisation de la végétation qui avait rempli la moitié environ de l'espace décortiqué, et je ne fus pas peu surpris de voir que cette végétation paraissait entièrement composée de *fibres* perpendiculaires à l'axe de la branche. Chacun sait que *le fil* du bois est toujours dans le sens vertical ou longitudinal; ce n'est ordinairement que dans ce sens qu'il peut être fendu; or la végétation descendante dont il est ici question se prêtait facilement à être fendue dans le sens horizontal ou transversal, et les surfaces séparées ne présentaient aucune apparence de fibres longitudinales brisées. La figure 3, planche 5, représente la coupe longitudinale de la branche de pommier dont il est ici question; elle est amplifiée une fois et demie.

La décortication annulaire s'étendait primitivement de *a* en *b*. Une partie de cet espace a été remplie par une forte végétation descendante de *b* en *c*, et par une faible végétation ascendante de *a* en *c*. L'aubier de ces deux végétations descendante et ascendante ne paraît contenir que des *fibres* perpendiculaires à l'axe de la branche, comme on le voit en *d*, *d'*. Cette structure singulière s'observe même jusqu'à une certaine distance au-dessus et au-dessous de la décortication annulaire. On voit ces fibres de l'aubier perpendiculaires à l'axe de la branche, disposées en trois couches successives *d*, qui correspondent aux trois années pendant lesquelles s'est accrue cette branche après sa décortication annulaire. A la partie inférieure de cette décortication, on ne distingue qu'une seule couche d'aubier *d'*, qui est composée de même de fibres perpendiculaires à l'axe de la branche. Cette couche, qui paraît unique, comprend bien certainement trois couches annuelles; mais leur peu d'épaisseur ne permet pas de les distinguer. En comparant ces *fibres* perpendiculaires à l'axe de la branche avec les rayons médullaires normaux du pommier, on reconnaît facilement leur parfaite identité. Ainsi les trois couches ligneuses qui se sont développées pendant trois années successives au-dessus et au-dessous de la décortication annulaire, paraissent au premier abord être exclusivement composées de rayons médullaires. Tel était en effet le jugement que j'avais d'abord porté à cet égard; mais en examinant depuis ce produit végétal avec M. Adolphe Brongniart, j'ai reconnu qu'il contenait une assez grande quantité de tubes longitudinaux rayés en travers ou de *fausses trachées*, pareilles à celles que l'on trouve normalement dans le bois du pommier. Ainsi il ne manque ici qu'un seul des éléments du bois, c'est-à-dire les tubes fibreux. Leur absence est complète, et c'est cette absence qui est la cause de la facilité avec laquelle le tissu ligneux se fend dans le sens horizontal. Ce sont en effet les tubes fibreux seuls qui donnent au bois sa résistance énergique à la division ou à la rupture dans le sens transversal; les gros tubes longitudinaux n'opposent presque point d'obstacle à cette division transversale, parce qu'ils se rompent avec la

plus grande facilité. C'est par cette raison que la rupture horizontale de la végétation descendante dont il est ici question s'opère sans offrir dans la cassure cet aspect *chanvreux* que présente ordinairement le bois cassé en travers. On n'y voit que les ouvertures des tubes rompus transversalement. Ces tubes verticaux croisent à angle droit la direction des rayons médullaires horizontaux, qui sont ici tellement accrus en nombre qu'ils paraissent, au premier coup d'œil, être les seuls éléments organiques de cette production ligneuse anormale.

On vient de voir comment l'espace laissé vide par la décortication a été envahi par les trois couches ligneuses produites en descendant et en montant pendant les trois années qui ont suivi la décortication. C'est de la part des couches ligneuses descendantes que cet envahissement est surtout remarquable. Il est fort exigu de la part des couches ligneuses ascendantes, et cependant il est très-facile à constater; car on voit ces couches ligneuses ascendantes recouvrir une partie du bois mort et noirci par son exposition à l'air après la décortication. Au-dessus de celle-ci les trois couches d'aubier *d*, qui sont entièrement dépourvues de tubes fibreux, et qui sont abondamment pourvues de rayons médullaires, sont recouvertes par trois couches d'écorce *f*, qui sont également dépourvues de tubes fibreux, et qui abondent en rayons transversaux. Cette structure particulière de l'écorce *f* n'est apercevable qu'à la loupe, tandis que dans les couches d'aubier *d* elle est très-facilement apercevable à l'œil nu. Au reste, ces trois couches d'écorce *f* se distinguent nettement de l'aubier *d* par leur couleur et par leur consistance bien moindre. En dehors de ces trois couches d'écorce *f* se trouvent les anciennes couches corticales *g*, qui offrent des tubes fibreux comme à l'ordinaire. Au-dessous de la décortication annulaire l'extrême exiguïté de l'accroissement, exiguïté qui existe surtout dans l'accroissement de l'écorce, ne permet pas de voir si elle manque de tubes fibreux en dehors de l'aubier *d'*, chez lequel l'absence des tubes fibreux et l'abondance des rayons médullaires sont très-manifestes. Ainsi la branche du pommier soumise à la décortication annulaire a produit, dans le voisinage de cette décortication, une quantité extraordinaire de rayons médullaires, tant dans son aubier que dans son écorce. Il y a eu, dans l'une et dans l'autre de ces deux parties, absence complète de production de tubes fibreux. Je ne sais à quoi tient cette particularité, qui ne m'a été offerte que par le pommier, et cela dans deux expériences du même genre. Chez plusieurs autres arbres que j'ai soumis à la décortication annulaire, j'ai toujours observé que la végétation qui tendait à remplir le vide opéré possédait des tubes fibreux dans son tissu. Il est remarquable que, dans les deux végétations descendante et ascendante qui ont lieu chez le pommier soumis à la décortication annulaire, les rayons médullaires s'ajoutent les uns aux autres en descendant et en montant; en sorte que leur production successive est latérale : elle s'opère par leurs côtés.

Il résulte de cette observation que ce n'est pas seulement d'en haut que provient la végétation qui tend à remplir le vide opéré par la décortication annulaire, elle vient aussi d'en bas; mais ici elle est, la plupart du temps, à peine apercevable. On favorise le développement de cette végétation ascendante, et à plus forte raison celui de la végétation descendante, en enveloppant la plaie faite par la décortication annulaire avec de la terre argileuse. Alors j'ai vu la végétation ascendante acquérir quelquefois une étendue de six à huit lignes. Il est donc certain que deux extensions des nouvelles couches de l'arbre, l'une descendante et l'autre ascendante, tendent à remplir le vide opéré par la décortication annulaire. Le bourrelet supérieur, ou descendant, existe souvent seul, parce que le bourrelet inférieur, ou ascendant, avorte. L'inégalité de force et d'étendue de ces deux bourrelets, ou de ces deux extensions des nouvelles couches de l'arbre, ne dépend que de l'inégalité de leur nutrition, laquelle est spéciale-

ment opérée par la séve descendante, dont la décortication annulaire intercepte en grande partie la marche.

On voit, par les faits qui viennent d'être exposés, que le vide opéré par la décortication annulaire tend à être rempli par deux déviations de l'accroissement en diamètre : l'une de ces déviations est descendante, et c'est la plus considérable; l'autre, qui est bien plus faible, est ascendante. Le tissu ligneux produit dans cette circonstance est ordinairement pareil au tissu normal de l'arbre; chez le pommier, ce tissu est privé de tubes fibreux et abonde en rayons médullaires.

On vient de voir que l'écorce offre la même particularité de structure que l'aubier, au-dessus de la décortication annulaire chez le pommier; ses trois couches les plus voisines de l'aubier sont, comme les trois couches les plus nouvelles de ce dernier, entièrement dépourvues de tubes fibreux, et abondamment pourvues de rayons médullaires.

Cette particularité de structure fait que l'on peut assigner les époques de la formation de ces couches. En effet, on voit très-facilement que les trois couches les plus nouvelles d'aubier, qui ne contiennent point de tubes fibreux, ont été formées depuis la décortication annulaire; et comme elles sont au nombre de trois, on voit que chacune d'elles correspond à une année de végétation. On ne verrait point de même à quelles années se rapporte la formation des trois couches corticales les plus voisines de l'aubier, si elles n'offraient pas une anomalie de structure tout à fait semblable à celles que présentent les trois dernières couches d'aubier. La similitude du nombre et la similitude de l'anomalie des trois dernières couches d'aubier et des trois couches d'écorce qui les avoisinent le plus, prouvent incontestablement que, dans chacune des années qui ont suivi la décortication annulaire, il s'est formé simultanément une couche d'écorce et une couche d'aubier, et que chaque année deux nouvelles couches contiguës, l'une d'écorce et l'autre d'aubier, se sont intercalées aux deux couches précédemment contiguës d'écorce et d'aubier qu'elles ont séparées. Il est donc certain que les deux systèmes cortical et central des arbres dicotylédons s'accroissent en diamètre en marchant l'un vers l'autre; le premier par une progression centripète, et le second par une progression centrifuge. Ils intercalent ainsi leurs parties nouvelles dans l'endroit où ils se trouvent en contact, ce qui fait reculer la masse entière de l'écorce, dont les couches les plus vieilles et les plus extérieures sont ordinairement frappées de mort, comme le sont souvent les couches les plus vieilles et les plus intérieures du bois.

Si, malgré ces observations, il se trouvait encore des naturalistes qui continuassent de penser que l'aubier est produit par une transmutation de la couche la plus voisine du liber, ils se désabuseraient certainement en étudiant comparativement la structure microscopique du liber et celle de l'aubier. Il existe une différence très-notable entre les organes qui entrent dans la composition de ces deux parties. Le tissu du bois et celui de l'écorce offrent également des tubes fibreux. Or, j'ai observé que généralement ces tubes fibreux ont dans l'écorce et le liber des dimensions plus que doubles de celles qu'ils offrent dans l'aubier. Ce fait suffit à lui seul pour prouver irréfragablement que le liber ne devient point aubier; car les organes élémentaires des végétaux ne peuvent pas perdre leurs dimensions acquises et spécialement leur longueur. On sait qu'au contraire les tubes végétaux se développent, ils prennent des dimensions plus grandes en avançant en âge jusqu'à ce qu'ils aient acquis une certaine solidité. Si l'aubier provenait d'une transmutation du liber, ses tubes fibreux étant plus âgés que ceux du liber, devraient être plus grands que ceux de ce dernier; or, ils sont bien plus petits. Il est donc très-certain que l'aubier ne tire point son origine d'une transmutation du liber. Ces deux parties, différentes par leur organisation, ont une origine à part.

Les bourrelets latéraux qui se forment dans les arbres lors de leur décortication longitudinale partielle, et le bourrelet su-

périeur ou descendant qui se forme à la partie supérieure de la décortication annulaire sont, jusqu'à ce jour, les seuls dont l'existence ait été bien évidente aux yeux des observateurs; le bourrelet inférieur qui se forme rarement à la partie inférieure de la décortication annulaire, est toujours si exigu, qu'il a échappé à l'observation et que même, jusqu'à ces derniers temps, son existence a été niée; ses faibles rudiments, qui se présentent quelquefois à l'observation, sont considérés par certains phytologistes comme les résultats de l'agglomération des bourgeons adventifs encore rudimentaires et inapercevables, qui sont destinés à donner naissance à des rameaux, lesquels, effectivement, naissent très-souvent à la partie inférieure de la décortication annulaire. Les observations rapportées plus haut, touchant l'existence du bourrelet inférieur ou ascendant, ne sont donc point encore assez décisives pour dissiper tous les doutes à cet égard; ces doutes disparaîtront nécessairement devant l'observation qui va suivre.

Lorsqu'un arbre est abattu et que la souche ne reproduit point de tiges, cette souche et les racines qui la fixent au sol ne tardent pas ordinairement à mourir. Ce phénomène trouve sa cause dans cette loi connue de la végétation qui fait dériver des feuilles la séve élaborée, laquelle est nécessaire à la vie et à l'accroissement de l'arbre, tant dans sa partie aérienne que dans sa portion souterraine. Lorsque la souche reproduit des tiges après que l'arbre a été abattu, la vie des racines peut s'étendre à une durée indéfinie.

On sait que les conifères ne reproduisent jamais de tiges de leurs souches lorsque l'arbre a été abattu. Aussi la souche et les racines qui la fixent au sol ne tardent-elles pas ordinairement à mourir et à se décomposer. Ce fait trouve cependant une exception fort remarquable chez le *pinus picea* L. (*abies pectinata* D C.). Chez cet arbre la souche et les racines continuent de vivre et même de s'accroître pendant un grand nombre d'années. Ce fait singulier m'avait été annoncé par mon frère, inspecteur des forêts. J'avoue que je doutais de sa réalité avant de l'avoir constaté moi-même. J'ai vu dans les forêts du Jura que toutes les souches du *pinus picea* L., dont les arbres avaient été abattus depuis un certain nombre d'années, étaient pleins de vie ainsi que leurs racines, tandis que toutes les souches et les racines du *pinus abies* L. (*abies excelsa* D C.) étaient mortes. J'ai vu de vieilles souches de *pinus picea* qui, d'après des renseignements certains, avaient été abattues 45 ans auparavant et qui étaient pleines de vie. Leur intérieur était entièrement pourri, mais leur bois le plus extérieur et leur écorce offraient les phénomènes de la vie. C'était au printemps que je faisais cette observation. La souche et les racines étaient *en séve;* leur écorce, séparée du bois par l'épanchement de la séve ou du *cambium,* se détachait avec facilité. Cette écorce et le bois qu'elle recouvrait avaient tous les caractères qu'offrent ces parties lorsqu'elles jouissent pleinement de la vie. L'existence du cambium indiquait que la souche devait s'accroître en diamètre : c'est aussi ce qu'il me fut facile de constater, et voici par quel moyen : j'aperçus qu'il s'était formé un bourrelet entre l'écorce et le bois de la souche, et que ce bourrelet, composé de bois et d'écorce développés depuis que l'arbre avait été abattu, avait recouvert une partie de la section transversale de la souche, en sorte que la section de l'aubier qui limitait le système central de l'arbre au moment où il avait été abattu se trouvait parfaitement conservé. Les traces de la hache sur cet arbre divisé transversalement ne permettaient pas de se tromper à cet égard. Or, j'ai vu sur toutes ces souches un accroissement de diamètre par production de nouvel aubier, dont l'épaisseur, chez les vieilles souches que j'observais, était environ d'un centimètre; en sorte que ces souches avaient acquis dans l'espace de 45 ans un accroissement total de deux centimètres ou environ huit lignes en diamètre.

Ce fait, vu sa singularité et sa nature tout à fait exceptionnelle, méritait d'être constaté, de manière à ne laisser aucun

doute dans l'esprit des savants. Je l'avais communiqué à l'Académie des Sciences en 1833; j'eus occasion, en 1836, de faire venir des forêts du Jura plusieurs souches du *pinus picea* qui étaient vivantes lorsqu'on les recueillit pour me les envoyer. L'une d'elles, dont on voit la coupe verticale de grandeur naturelle dans la figure 1 de la planche 7, s'est accrue en diamètre pendant quatorze ans, depuis l'époque à laquelle l'arbre qu'elle supportait a été abattu jusqu'à celle où elle a été recueillie. L'accroissement de son bois en diamètre pendant cet espace de temps, est proportionnellement bien plus considérable que celui qui a été noté plus haut; car il offre, dans les quatorze couches qui le constituent, une épaisseur totale de douze millimètres dans la partie verticale de la souche, comme on le voit en *a;* cette épaisseur des couches ligneuses va jusqu'à dix-sept millimètres dans la partie *b,* qui est la partie ligneuse du volumineux bourrelet ascendant, lequel recouvre une partie de la section *d* que la hache avait faite sur la souche lorsque l'arbre qu'elle portait a été abattu. Ce bourrelet ascendant est recouvert par son écorce particulière *e,* produite de même depuis que l'arbre a été abattu, et intercalée dans le bas à l'ancienne écorce, dont on voit en *c* la section transversale faite par le coup de hache qui a fait en même temps la section transversale *d* du bois de la souche. L'intercalation des nouvelles couches d'aubier et des nouvelles couches d'écorce à l'aubier et à l'écorce qui existaient lorsque l'arbre a été abattu, est un phénomène qui est ici de toute évidence. On voit par la manière dont se recouvrent successivement les couches qui composent le bourrelet ascendant *b e,* que ce dernier est engendré par une déviation ascendante de l'accroissement en diamètre. Ce ne sont point des *fibres* qui montent, ce sont des couches successives qui se recouvrent en se débordant et en devenant horizontales au lieu d'être verticales. Il est fort remarquable que l'accroissement ligneux, dans la partie supérieure et horizontale *b* de cette nouvelle production, soit plus considérable que dans sa partie inférieure et verticale *a.* Cela me paraît provenir de ce que la sève ascendante, poussée de bas en haut par l'impulsion des racines, est arrêtée nécessairement dans la partie supérieure *b,* où son accumulation produit un excès de nutrition et de développement.

La vieille souche *s* de l'arbre existe encore dans la pièce que représente la figure 1; cette vieille souche a complétement disparu par l'effet de la pourriture dans la pièce représentée par la figure 2 (planche 7). C'est encore ici une souche du *pinus picea;* elle est représentée avec les quatre dixièmes de ses dimensions naturelles. La couche d'aubier la plus extérieure que possédait l'arbre lorsqu'il fut abattu, correspondait à la ligne verticale *a b.* La ligne horizontale *b c* indique la place où se trouvait une petite portion de la coupe transversale faite à la partie inférieure du tronc de l'arbre pour l'abattre. Après que l'arbre fut abattu, la mort frappa la souche restée dans le sol jusqu'à la profondeur *e;* c'est à cet endroit, en effet, qu'on voit le sommet de la première couche d'aubier produite dans l'année qui suivit l'hiver, dans le courant duquel la section de l'arbre fut faite. Dans les années suivantes, de nouvelles couches d'aubier se recouvrirent successivement les unes les autres dans la partie *d,* et se dépassèrent successivement en montant les unes au-dessus des autres dans la partie *f* où elles s'appuyaient sur l'ancien aubier de l'arbre, limité par la ligne *a b,* ancien aubier qui n'existe plus ici. En continuant ainsi à monter les unes au-dessus des autres, les couches successives de l'aubier sont venues, en se recourbant, s'appuyer sur ce qui restait de la surface *c b* de la section transversale de l'arbre, surface qui n'existe plus du tout ici; enfin, l'ancien bois de l'arbre, que contenait la souche, ayant entièrement été enlevé par la décomposition, les couches ligneuses successives *g,* en se recourbant les unes au-dessus des autres, se sont enfoncées dans l'espace intérieur laissé vide par la disparition de l'ancien bois de l'arbre,

et sont venues jusqu'à la ligne *a b* qu'occupait l'ancien bois disparu, et là elles se sont appuyées sur les couches vivantes d'aubier de *b* en *c*, couches produites, les premières, après la section de l'arbre et qui s'étaient appuyées, en montant, successivement, sur l'aubier appartenant anciennement à l'arbre, aubier qui n'avait pas encore été détruit par la décomposition. Le nombre total de ces couches produites par la souche, postérieurement à l'époque à laquelle l'arbre a été abattu, est de 92; en sorte qu'il est certain que cette souche s'est développée en épaisseur, par couches successives, pendant ce même nombre d'années [1], et comme elle était encore pleine de vie lorsqu'elle a été recueillie, pour m'être envoyée, elle eût pu vivre et se développer encore pendant un temps indéfini.

Le phénomènne que présente le *pinus picea*, dans cette circonstance, semble, au premier coup d'œil, infirmer la théorie qui fait dériver des feuilles ou des parties aériennes du végétal la séve élaborée qui fournit les matériaux de l'accroissement: mais l'extrême exiguïté de l'accroissement en diamètre des souches du *pinus picea* confirme au contraire cette théorie; car cette souche, qui continue à vivre pendant un si grand nombre d'années, ne s'accroît d'une manière aussi exiguë, que parce qu'elle manque de feuilles qui sont spécialement les organes producteurs de la séve nourricière. Il paraît que, chez cet arbre, les racines possèdent la faculté d'élaborer une petite quantité de séve brute ou crue, et de la transformer en séve nourricière, ce qui entretient la vie des racines et de la souche, et fournit à leur accroissement exigu pendant un grand nombre d'années. Cette faculté manque au *pinus abies* et au *pinus silvestris*, dont les souches et les racines meurent peu après que l'arbre a été abattu. D'où provient cette différence? C'est ce qui ne paraît pas facile à déterminer. Quoi qu'il en soit, ce fait est très-remarquable en ce qu'il prouve que les racines des arbres et la petite portion de tige qui leur est laissée lorsqu'ils sont abattus, peuvent, dans certains cas, vivre très-longtemps et s'accroître sans être surmontées par aucune végétation foliacée, et même sans aucun bourgeon. Ce fait ruine sans retour, la théorie de Lahire et de Dupetit-Thouars, théorie d'après laquelle les nouvelles couches d'aubier seraient formées par des fibres descendantes, sortes de racines des bourgeons en développement, fibres qui descendraient en s'intercalant à l'ancien aubier et à l'écorce. Cette théorie, qui, dans ces derniers temps, a encore été soutenue par des hommes de mérite, doit définitivement être abandonnée. Il ne descend point de fibres pour former des *bourrelets descendants*, il ne monte point de fibres pour former les *bourrelets ascendants;* ces bourrelets sont formés par des déviations descendantes ou ascendantes de l'accroissement de l'arbre en diamètre; les *bourrelets latéraux*, qui se forment lors de l'enlèvement d'une lanière longitudinale d'écorce, sont formés de même par des déviations latérales de l'accroissement de l'arbre en diamètre. La formation de tous ces bourrelets est due, en quelque sorte, à un *débordement* des deux substances ligneuse et corticale, produites lors de l'accroissement de l'arbre en diamètre. Ce *débordement* est très-considérable dans la formation du bourrelet descendant, parce qu'il est alimenté par la séve nourricière descendante; il est très-faible et souvent nul à la partie inférieure d'une décortication annulaire, parce que la séve ascendante est moins propre que la séve élaborée descendante à opérer l'accroissement en diamètre, et parce que, d'ailleurs, cette séve ascen-

[1] Il est certain qu'il se forme une couche ligneuse chaque année, et qu'il ne s'en forme qu'une, et non deux, l'une à la *séve du printemps* et l'autre à la *séve d'août*, ainsi que l'ont cru quelques-uns. Je me suis assuré de ce fait, qui du reste ne trouve guère de contradicteurs, par des observations faites sur beaucoup d'espèces d'arbres dans des taillis et des futaies dont l'âge était authentiquement déterminé.

dante n'est point arrêtée, comme l'est la séve élaborée descendante, par la décortication annulaire; la séve ascendante continue alors de monter par le tissu d'aubier et elle se porte vers les parties supérieures de l'arbre. La souche d'un arbre tel que le *pinus picea*, souche qui peut vivre pendant un grand nombre d'années après que l'arbre qu'elle portait a été abattu, reçoit la masse totale de la séve ascendante qui lui est envoyée par les racines dont la vie persiste également. Cette séve ascendante arrêtée là, dans son ascension, nourrit sa souche et lui procure un accroissement en diamètre, lequel n'est exigu que parce que la séve ascendante est peu nutritive. J'ai observé dans les souches de *pinus picea* représentées ici (pl. 7), que les premières couches d'aubier, produites après que l'arbre a été abattu, sont les plus épaisses; ces couches vont ensuite en diminuant insensiblement d'épaisseur, en sorte que les plus extérieures ne peuvent plus se distinguer qu'à la loupe; c'est le contraire de ce qui a lieu chez le *pinus picea*, comme chez tous les autres arbres dans l'état normal; on sait que généralement les arbres, en avançant en âge, offrent des couches ligneuses de plus en plus épaisses; cela provient de ce que, jusqu'à une certaine époque, ils acquièrent un nombre toujours croissant de rameaux, et par conséquent de feuilles ou d'organes élaborateurs de la séve nutritive; l'épaisseur des couches ligneuses annuelles est naturellement en rapport avec l'abondance de cette séve élaborée. Or, dans la souche du *pinus picea*, les couches ligneuses annuelles vont en diminuant graduellement d'épaisseur; cela prouve que les racines qui, seules alors, fournissent à la souche la séve nutritive, perdent graduellement la faculté de fournir cette séve élaborée; mais il faut convenir que la perte de cette faculté est bien lente, puisque l'accroissement de la souche qui a lieu pendant 92 ans aurait pu, fort probablement, subsister pendant le siècle entier et au delà.

V.

OBSERVATIONS

SUR LES VARIATIONS ACCIDENTELLES DU MODE SUIVANT LEQUEL LES FEUILLES SONT DISPOSÉES

SUR LES TIGES DES VÉGÉTAUX [1].

Les modes divers qui président à la disposition des feuilles sur les tiges des végétaux ont été determinés avec beaucoup de soin par les botanistes. En étudiant ces modes de disposition, on n'a pas tardé à s'apercevoir que, chez le même végétal, le mode ordinaire de la disposition des feuilles était quelquefois changé. Bonnet [2] a fait des recherches spéciales sur cet objet : il a observé avec soin et les modes divers de la disposition des feuilles et les variations accidentelles qu'ils subissent quelquefois ; mais il n'a point aperçu le mécanisme de ces variations, dont l'existence prouve que l'ordre, toujours régulier, de la disposition des feuilles, dépend d'une cause qui est constante dans sa régularité d'action, mais qui n'est point constante dans le mode de cette même action. Or ces anomalies de l'action organique qui préside à la disposition des feuilles peuvent faire connaître le mécanisme de cette action. Il ne s'agit, pour parvenir à cette connaissance, que d'observer comment les diverses dispositions régulières des feuilles se changent les unes dans les autres. L'étude de ce problème de physiologie végétale est d'une grande importance; car elle doit conduire à la connaissance de la symétrie normale et primitive des végétaux, qu'admet, avec juste raison, M. de Candolle [3] : « Toute cette nombreuse classe de faits, dit-il, connue sous le nom de monstruosités, qui était impossible à comprendre dans l'ancien système, et qu'on affectait de mépriser pour se dispenser de les étudier ; toute cette classe, dis-je, a pris une clarté et un intérêt nouveau, depuis qu'on les a vus sous leur vrai point de vue, savoir, comme des indices pour reconnaître la symétrie normale ou primitive des êtres. Les monstruosités sont, pour ainsi dire, des expériences que la nature fait au profit de l'observateur. »

Les feuilles offrent toujours une disposition régulière sur les tiges ; lorsqu'elles sont considérées comme *éparses*, c'est que l'ordre de leur disposition est inaperçu. M. de Candolle rapporte toutes

[1] Ce mémoire a été publié en 1834 dans les Nouvelles Annales du Muséum d'histoire naturelle, tome 3.

[2] Recherches sur l'usage des feuilles; troisième mémoire.

[3] Organographie végétale, t. 2, p. 240.

les dispositions des feuilles à deux classes. La première comprend les feuilles qui sont multiples sur une même coupe horizontale de la tige; ce sont les feuilles opposées et les feuilles verticillées. La seconde comprend les feuilles qui sont uniques sur une même coupe horizontale de la tige; ce sont les feuilles en spirale et les feuilles alternes. La transmutation de ces divers modes de disposition des feuilles, les uns dans les autres, a été notée depuis longtemps par Bonnet. M. de Candolle est entré dans quelques détails à ce sujet dans son Organographie végétale. Il y a de ces transmutations qui sont dans l'ordre de la nature; il y en a d'autres qui sont accidentelles, qui sont des monstruosités. Or ces aberrations de la nature ne se font point au hasard; elles sont soumises à des lois qu'il est important de déterminer.

On peut établir comme règle générale, qu'il ne s'opère jamais de transmutations accidentelles dans le mode de disposition des feuilles, lorsque les végétaux n'ont que la force normale de végétation qui leur est propre. Cette transmutation n'arrive que lorsqu'il se produit des scions très-vigoureux. C'est ce qui arrive, par exemple, lorsqu'un arbre étant privé de ses branches, il en reproduit de nouvelles. L'observation apprend que les arbres dont les feuilles sont opposées, sont ceux qui sont le plus sujets à présenter des transmutations de ce genre; elles sont fort rares chez les arbres dont les feuilles sont en *quinconces* ou en *pentaphylles spiralés*. Parmi les nombreux exemples de transmutations de ce genre que j'ai eu occasion d'observer, je choisirai, en les enchaînant les uns aux autres, ceux qui sont le plus propres à démontrer la manière dont ces transmutations s'opèrent.

Les arbres dont les feuilles sont opposées sont, comme je viens de le dire, ceux dont le mode normal de la disposition des feuilles se change accidentellement le plus souvent. C'est par eux que je vais commencer l'étude de ces transmutations.

Parmi les arbres à feuilles opposées, chez lesquels on observe assez fréquemment la transmutation du mode normal de la disposition des feuilles, je citerai le frêne (*fraxinus excelsior*) et l'érable (*acer campestre.*) J'ai observé chez ces deux arbres cinq sortes de transmutations dans le mode de la disposition de leurs feuilles. Je prendrai ici l'érable pour *specimen*. La figure 1, planche 8, représente la disposition normale des feuilles de cet arbre.

Lorsque les scions de l'érable végètent vigoureusement, ses feuilles opposées tendent souvent à quitter leur opposition; elles se dissocient de plusieurs manières et toujours avec régularité. Lorsque, dans les paires de feuilles semblablement *dirigées*, telles que *aa'* et *cc'* (fig. 2), *les* feuilles sont dissociées *dans le même sens,* et qu'il en est de même dans les paires *bb'* et *dd',* les feuilles deviennent *doublement alternes*. Souvent cette dissociation est très-légère, en sorte que les feuilles peuvent être considérées comme *imparfaitement opposées*. Mais quelquefois aussi cette dissociation est complète, et les feuilles qui auraient dû être opposées sont portées à une assez grande distance l'une de l'autre; alors elles décrivent, par leur insertion sur la tige, une spirale telle, qu'il faut quatre feuilles pour faire deux fois le tour de la tige. La première correspond verticalement à la cinquième au-dessus; ainsi en partant de la feuille *a'* pour suivre les feuilles supérieures dans leur ordre d'élévation, on leur trouve l'ordre suivant : *a' a bb' c'*. La feuille *c'*, qui correspond à la feuille *a'* sur le même côté du scion, est la cinquième au-dessus d'elle. Il faut ainsi quatre feuilles pour faire deux fois, et en spirale, le tour du scion; les feuilles sont ainsi disposées en *tétraphylles spiralés*. Les deux paires, semblablement dirigées, *a' a* et *c' c*, offrent la même disposition dans l'élévation respective de leurs feuilles dissociées; car les deux feuilles antérieures, *a' c'*, sont plus basses que les deux feuilles postérieures *a c*. Ainsi les feuilles *a' a* sont alternes dans le même sens que le sont les feuilles *c' c*. Les feuilles *b b'* sont aussi alternes dans le même sens que le sont les feuilles *d d'*. Cette disposition, que l'on

voit ici dériver de la dissociation alterne des feuilles opposées, et qui est ici un état anormal ou monstrueux, est la disposition normale des feuilles du nerprun (*rhamnus catharticus*). Cet arbrisseau présente ordinairement, en effet, des feuilles *doublement alternes* ou des feuilles imparfaitement opposées et dissociées d'une manière *doublement alterne;* mais je ferai observer que cette disposition des feuilles sur les scions du nerprun n'a lieu que lorsque ces scions sont produits sous l'influence de la force normale de végétation de cet arbuste. Lorsque ces scions sont produits par la souche d'un arbuste coupé, et qu'ils possèdent ainsi une grande force de végétation, leurs feuilles ne sont plus *doublement alternes,* elles sont alors disposées en *pentaphylles spiralés* ou en *quinconces*. Ce fait indique déjà que les causes qui président à ces deux dispositions des feuilles se touchent de très-près. On va voir, en effet, la disposition des feuilles en pentaphylles spiralés naître d'un nouveau mode de dissociation des feuilles *opposées-croisées* [1].

Bonnet a déjà signalé ce fait que, chez une espèce de saule qu'il nomme *osier rouge-brun* et qui est le *salix purpurea* de Linnée, les feuilles des scions sont opposées dans le bas et en *quinconces* dans le haut; mais il n'a point tiré parti de cette observation pour tenter de saisir le lien qui unit ces deux dispositions si différentes des feuilles. Plusieurs scions de frêne et d'érable m'ont offert le même phénomène. La figure 3 représente la partie inférieure d'un scion d'érable dont les feuilles supérieures (fig. 3') sont disposées en pentaphylle spiralé; les feuilles inférieures (fig. 3) offrent le mode de transition de la disposition opposée des feuilles à leur disposition en *quinconce* ou en pentaphylle spiralé. Ici les deux paires semblablement dirigées, *a' a* et *c' c*, offrent la dissociation de leurs feuilles en sens inverse l'une de l'autre. En effet, dans la paire *a' a* la feuille postérieure *a* est plus haute que la feuille antérieure *a'*, tandis que dans la paire *c' c*, la feuille postérieure *c* est plus basse que la feuille antérieure *c'*. Il en est de même des deux paires semblablement dirigées, *b' b* et *d' d;* le mode de dissociation de l'une est inverse de celui de l'autre. Ainsi les deux paires semblablement dirigées que sépare une paire qui les croise offrent une disposition inverse dans l'élévation respective de leurs feuilles dissociées. Ces feuilles sont *alternes à contre-sens* ou *sécus-alternes*. Il résulte de là, qu'en partant de la feuille *a'* pour suivre les feuilles supérieures dans leur ordre d'élévation jusqu'à la feuille *c'*, qui est située sur la même ligne verticale, on leur trouvera l'ordre suivant, *a', a, b', c, c'*. Ainsi la feuille *c'*, qui correspond à la feuille *a'* sur le même côté du scion, est la sixième au-dessus d'elle : il y a par conséquent cinq feuilles pour faire en spirale deux tours complets sur le scion; la sixième recouvre la première. On obtient le même résultat en commençant à compter par la feuille la plus basse de toutes les autres paires de feuilles dissociées. Si au lieu de commencer à compter par la feuille *a'*, qui est la plus basse de la paire *a' a*, on commence à compter par la feuille *a*, qui est la plus haute de cette paire, on ne trouvera plus qu'une série de quatre feuilles, *a, b', b, c,* pour arriver à la feuille *c,* qui correspond à la feuille *a* sur le même côté du scion, ou qui la recouvre; ici la série des feuilles ne fait plus qu'un seul tour en spirale sur le scion, et il ne faut que trois feuilles pour accomplir ce tour. On obtient le même résultat en commençant à compter par la feuille la plus haute de toutes les autres paires de feuilles dissociées. Ainsi le scion dont il est ici question offre les éléments de deux spirales différentes. Les cinq feuilles *a', a, b', b, c* forment un *quinconce* ou un *pentaphylle spiralé* qui fait deux tours de spire sur le

[1] Je distingue ainsi les feuilles opposées dont les paires sont croisées, des feuilles opposées dont les paires ont toutes la même direction, comme cela a lieu, par exemple, chez le *potamogeton densum*.

scion. Les trois feuilles *a*, *b'*, *b*, forment l'élément d'une spirale de trois feuilles ou un *triphylle spiralé*. Le pentaphylle spiralé, tel qu'il est représenté dans le bas du scion (fig. 3) n'offre pas une spirale régulière : les feuilles qui le composent ne sont pas également espacées sur la circonférence du scion. En effet les feuilles *a'*, *a*, *b'*, *b*, *c* ne divisent point par cinquièmes la circonférence du scion : les deux feuilles *a* et *c* sont situées du même côté; les deux feuilles *b* et *b'* sont situées sur des côtés opposés. Ainsi les feuilles sont situées ici sur quatre côtés du scion ou sur quatre lignes verticales, et non sur cinq lignes verticales comme cela doit être dans le pentaphylle spiralé tel qu'il existe dans la partie supérieure du scion (fig. 3*). Pour amener la régularité de ce pentaphylle spiralé dans la partie supérieure du scion, il a donc fallu un déplacement transversal des feuilles. Ce phénomène est celui que je nomme, avec Bonnet, *déclinaison des feuilles*. Il consiste dans un déplacement transversal des feuilles, qui quittent la ligne verticale sur laquelle elles sont situées, sans quitter leur élévation ; elles se portent à droite ou à gauche en tournant un peu autour de la tige. C'est au moyen de cette déclinaison que le *pentaphylle spiralé irrégulier*, que l'on voit dans le bas du scion (fig. 3) devient un *pentaphylle spiralé régulier* tel qu'on le voit dans la partie supérieure de ce même scion (fig. 3*). Voici par quel mécanisme ce changement s'opère.

La première feuille du pentaphylle spiralé 1 (fig. 3*), analogue de la feuille *a* (fig. 3), et la feuille 6 qui la recouvre et qui est l'analogue de la feuille *c'*, restent dans la même ligne verticale. La feuille 2, dont l'analogue *a* est sur une verticale éloignée d'une demi-circonférence de la verticale sur laquelle est l'insertion de la feuille immobile *a'*, analogue de la feuille 1, s'est rapprochée de la verticale de cette dernière en déclinant vers la gauche d'une quantité égale à un dixième de circonférence. La feuille 5, analogue de la feuille *c*, s'est comportée de la même manière par rapport à la feuille immobile 6, analogue de la feuille *c'* ; elle s'est rapprochée de sa verticale en déclinant vers la droite d'une quantité égale à un dixième de circonférence. Ainsi les deux feuilles 2 et 5 se trouvent portées sur des verticales éloignées de deux cinquièmes de circonférence de la verticale des feuilles immobiles 1 et 6, et ces deux feuilles 2 et 5 ont leurs verticales distantes l'une de l'autre d'un cinquième de circonférence. Les feuilles 3 et 4, analogues des feuilles *b'* et *b* dont les verticales sont éloignées d'un quart de circonférence de la verticale des feuilles immobiles *a'*, *c'*, analogues des feuilles 1 et 6, ont rapproché leurs verticales de la verticale de ces feuilles immobiles en déclinant en devant jusqu'à ce que leurs verticales soient distantes chacune d'un cinquième de circonférence de la verticale de ces feuilles immobiles 1 et 6. Il résulte de là que la verticale de la feuille 3 coupe en deux parties égales l'arc de deux cinquièmes de circonférence qui mesure la distance de la verticale de la feuille 5 à la verticale des deux feuilles immobiles 1 et 6 et que de même la verticale de la feuille 4 coupe en deux parties égales l'arc de deux cinquièmes de circonférence qui mesure la distance de la verticale de la feuille 2 à la verticale des deux feuilles immobiles 1 et 6. Au moyen de ces diverses déclinaisons les feuilles qui étaient d'abord situées sur quatre lignes verticales (fig. 3) distantes les unes des autres d'un quart de circonférence, deviennent situées sur cinq lignes verticales (fig. 3*) distantes les unes des autres d'un cinquième de circonférence ; elles forment alors un *pentaphylle spiralé* régulier. On voit que le mouvement général de la déclinaison des feuilles sur la circonférence du scion s'est effectué vers la ligne verticale sur laquelle sont insérées les deux feuilles immobiles 1 et 6.

La spirale générale qui résulte de l'assemblage des pentaphyles spirallés est tantôt dirigée de droite à gauche et tantôt dirigée de gauche à droite. Pour déterminer cette direction il faut placer en avant la première feuille de la spirale ou la plus basse ; si la troisième feuille est

située à droite comme cela se voit dans la figure 3*, la spirale monte de droite à gauche ; si la troisième feuille est située à gauche, la spirale monte de gauche à droite. Cette observation est due à Bonnet, qui a vu également que la spirale de droite à gauche est beaucoup plus commune que la spirale de gauche à droite. J'ai observé que dans les scions du poirier on rencontre presque généralement la spirale de droite à gauche ; la spirale de gauche à droite s'y montre peu fréquemment. Bonnet a vu que sur 83 tiges de chicorée il y en avait 51 dont la spirale des feuilles était dirigée de droite à gauche, et 32 dont cette même spirale était dirigée de gauche à droite. Des observations nombreuses que j'ai faites sur ce phénomène m'ont démontré qu'il est général. Sur le même végétal on rencontre les uns à côté des autres des scions qui offrent des spirales inverses, et toujours la spirale de droite à gauche est plus fréquente que la spirale de gauche à droite. Il ne reste plus qu'à déterminer le mécanisme au moyen duquel est formée la spirale de gauche à droite, car on a déjà vu dans la figure 3* le mécanisme de la formation de la spirale de droite à gauche. Dans cette figure la troisième feuille de la spirale est située à droite de l'observateur lorsqu'il met devant lui la première feuille. Ceci est l'indice auquel on reconnaît facilement que la spirale est dirigée de droite à gauche, ainsi que je l'ai dit plus haut. Or, admettons que les feuilles *a'*, *a* et *c*, *c'* restant dissociées comme elles le sont dans la figure 3, les feuilles *b'*, *b* soient dissociées d'une manière inverse ; que la feuille *b'* soit plus haute que la feuille *b* ainsi que cela est représenté dans la figure 4, alors la première feuille *a'* du pentaphylle spiralé étant tournée vers l'observateur, la troisième feuille au-dessus ou la feuille *b* sera située à sa gauche, ce qui sera l'indice que la spirale tourne de gauche à droite. Cette inversion de l'ordre d'élévation des deux feuilles *b*, *b'* déterminera un changement dans la déclinaison des deux feuilles *a*, *c*, comme on voit que cela s'est effectué dans les analogues 2 et 5 (fig. 4*) de ces feuilles. Les feuilles 2 et 5, au lieu d'avoir décliné la première à gauche et la seconde à droite, comme cela se voit dans la figure 3*, ont décliné la première à droite et la seconde à gauche. Ainsi l'inversion de l'ordre d'élévation des deux feuilles *b*, *b'* (fig. 4) entraîne l'inversion du côté vers lequel les deux feuilles *a* et *c* auront à décliner pour régulariser la spirale. Ce sont ces deux inversions qui produisent l'inversion de la spirale qui est alors dirigée de gauche à droite.

Le sens de la spirale qu'affectent les feuilles d'un scion ne change point ordinairement tant que continue son élongation terminale. Je n'ai observé qu'une seule exception à cette règle générale, et cette exception est des plus extraordinaires. Un arbuste grimpant des régions équatoriales, le *mimosa enteda*, dont une portion de tige m'a été communiquée par M. Turpin, a ses bourgeons disposés en spirale par cinq. Les feuilles sont donc disposées en pentaphylles spiralés. Or, le sens de la spirale change en passant d'un pentaphylle spiralé à celui qui le suit, ou qui le précède, en sorte que la spirale des feuilles est alternativement dirigée de droite à gauche et de gauche à droite. La figure 3 de la planche 14 représente une portion de cette singulière tige qui est volubile et dont les spires changent successivement de sens comme la spirale des feuilles. J'aurai lieu de m'occuper de nouveau de ce fait singulier dans le IX* mémoire. Je reviens au fait presque général de la persistance du sens primordial de la spirale qu'affectent les feuilles dans chaque scion pendant toute son évolution. C'est dans le bourgeon producteur du scion que s'opère la dissociation des trois premières paires de feuilles opposées, et c'est le mode de cette dissociation qui détermine la direction de la spirale. Ce premier phénomène accompli, les feuilles qui naissent subséquemment du bourgeon terminal continuent à se disposer en pentaphylles spiralés dans le sens de la spirale primordiale et sans aucun égard à la place qu'elles auraient occupée si elles fussent restées

opposées-croisées. Les causes qui déterminent la direction de ce premier travail, lequel s'opère dans le bourgeon et sur les germes infiniment petits des feuilles, ne sont point de nature à être déterminées par l'observation.

Un fait important, et sur lequel je reviendrai plus bas, découle de ces observations; c'est que tous les végétaux dont les feuilles sont disposées en pentaphylles spiralés successifs ont les germes invisibles de ces feuilles *opposés-croisés*. Il est évident, en effet, que ces pentaphylles spiralés sont engendrés par la dissociation sécus-alterne des feuilles opposées-croisées. Il est évident, en outre, que la direction de la spire, tantôt de droite à gauche, tantôt de gauche à droite, est produite par l'une ou l'autre des deux combinaisons que peut affecter le sens de dissociation de la seconde paire de feuilles avec les deux sens inverses de dissociation de la première et de la troisième paire de feuilles. Dans tout cela il y a un enchaînement de faits tellement évident, il y a un ordre si bien établi dans cet enchaînement, qu'on ne peut se refuser à y reconnaître la liaison nécessaire d'un *fait antérieur* à un *fait subséquent* qui en découle. L'existence actuelle du *fait subséquent*, qui est ici l'existence actuelle de la spirale composée de pentaphylles spiralés, indique donc nécessairement, partout où il se montre, l'existence passée du *fait antérieur*, qui est ici l'existence passée et transitoire de l'opposition croisée des germes invisibles des feuilles dans le bourgeon.

Il n'y a peut-être pas d'arbre à feuilles opposées qui n'offre quelquefois, dans ses scions vigoureux, la transition de cette disposition opposée des feuilles à la disposition en pentaphylles spiralés. Ce phénomène est très-commun. Il n'en est pas de même de la transition de la disposition des feuilles en pentaphylles spiralés à leur disposition *opposée-croisée*. Ce phénomène est rare. Je l'ai cependant observé une fois dans un scion de poirier chez lequel les feuilles avaient leur disposition normale dans le bas et étaient, dans le haut, opposées avec une légère dissociation sécus-alterne. Le même phénomène s'observe plus fréquemment dans les scions du *salix helix* L.

Pour apprécier avec justesse le mécanisme de ces diverses transitions d'une disposition des feuilles à une autre, il ne faut pas perdre de vue que c'est dans le bourgeon que ces transitions s'opèrent, et au moyen d'associations ou de dissociations des germes invisibles des feuilles. La nature nous offre ensuite au dehors l'état dans lequel le développement a saisi et fixé ces germes. Les monstruosités sont alors ou des dispositions qui étaient destinées par la nature à être transitoires et qui ont, pour ainsi dire, été *arrêtées en chemin* et rendues fixes, en sorte que la disposition normale n'a pas été atteinte; c'est ce qu'on appelle des *arrêts de développement*; ou bien ces dispositions accidentelles et monstrueuses sont des *excès de développement*, lesquels font subir aux germes des feuilles des déplacements qu'ils n'étaient point destinés à éprouver dans l'état normal. Je déterminerai plus bas quelles sont celles de ces dispositions accidentelles des feuilles qui sont des *arrêts de développement*, et quelles sont celles qui sont des *excès de développement*.

On doit à Bonnet d'avoir, le premier, signalé le fait de la déclinaison des feuilles; mais il n'a vu ce fait que dans un seul cas, qui est celui de la déviation des feuilles de la même verticale. J'ai dit que dans le pentaphylle spiralé (fig. 3* et 4*, pl. 8) la feuille 1 est située sur la même ligne verticale que la feuille 6. C'est ainsi, en effet, que cela semble avoir lieu au premier coup d'œil; mais lorsqu'on y regarde de près, on s'aperçoit que ces deux feuilles 1 et 6 ne sont pas exactement sur la même verticale. La feuille 6 décline un peu, soit vers la droite, soit vers la gauche, selon le sens de la spirale. Cette déclinaison est ordinairement si peu considérable qu'on l'aperçoit à peine, surtout lorsqu'il y a une grande distance entre la feuille 1 et la feuille 6. Mais, dans certains cas, cette déclinaison est très-marquée; elle n'affecte pas seulement la sixième feuille, elle

existe dans toutes les feuilles de la spirale, qui déclinent toutes alors dans le même sens. Cette déclinaison s'opère toujours dans le sens inverse de celui de la marche de la spire, en sorte qu'elle est toujours *rétrograde* par rapport à cette spire ascendante. Son effet ordinaire, lorsqu'elle est forte, est d'amener près de la ligne verticale de la première feuille la neuvième au-dessus. Alors la spirale, ainsi modifiée, paraît composée de huit feuilles. C'est ce qui a lieu dans l'état normal, chez le *laurus nobilis,* ainsi que cela se voit dans la figure 4 (planche 9). S'il n'y avait pas eu de déclinaison, la feuille 1 aurait été située sur la même ligne verticale que la feuille 6. Mais la déclinaison rétrograde ayant porté cette feuille vers le côté gauche du scion, et cette même déclinaison rétrograde ayant amené à peu près au milieu du scion la feuille 9, qui, sans cela, aurait été située vers le côté droit, il en résulte que cette feuille 9 se trouve située à peu près verticalement au-dessus de la feuille 1; il faut trois tours de spire pour l'atteindre. Cette spirale n'est réellement que la spirale fondamentale de cinq feuilles, qui se trouve modifiée par la déclinaison. Il est assez commun, en effet, de trouver accidentellement une semblable disposition des feuilles sur les scions de certains arbres qui, dans l'état normal, ont leurs feuilles disposées en pentaphylles spiralés. Cela se voit, par exemple, assez souvent sur les scions de l'abricotier, ainsi que Bonnet l'a noté. Cet état anormal des scions de l'abricotier se trouve être l'état normal des scions du *laurus nobilis*. D'après cela, il n'est point surprenant de rencontrer quelquefois, chez ce dernier arbre, le retour des feuilles à la disposition en pentaphylles spiralés, ainsi que je l'ai observé. Au reste, la spirale décrite par les feuilles du *laurus nobilis,* et qui paraît s'accomplir en trois tours comprenant huit feuilles, n'est réellement point complète, ainsi qu'on le verra plus bas. La feuille 9 n'est point exactement située sur la même verticale que la feuille 1; cette feuille 9 est située un peu à droite de cette verticale, ainsi que cela se voit dans la figure 4, pl. 9, en sorte qu'il faudra chercher plus haut la feuille qui est véritablement située sur la même verticale que la feuille 1.

La déclinaison générale des feuilles est toujours rétrograde, c'est-à-dire qu'elle s'effectue dans le sens inverse de celui de la marche de la spire. Ce fait, qui est général, est important à noter. La loi qui préside à cette déclinaison est telle, que toutes les feuilles, en reculant vers celles qui les précèdent dans la spire, se placent de manière à ce que les lignes verticales sur lesquelles elles s'insèrent, comprennent entre elles des parties égales de la circonférence de la tige; il en résulte qu'en prenant pour point fixe la première feuille, la déclinaison devient d'autant plus sensible qu'on l'observe sur des feuilles plus élevées au-dessus de cette première feuille, et cela parce que la feuille élevée que l'on observe réunit la somme de toutes les déclinaisons des feuilles qui sont au-dessous d'elle. Pour rendre ceci plus facile à concevoir, j'emprunte à Bonnet la figure 3 (pl. 9), qui représente un scion d'abricotier dont les feuilles ont une déclinaison générale. Les feuilles *a, b, c, d, e,* sont les premières feuilles de cinq pentaphylles spiralés successifs; s'il n'y avait pas eu de déclinaison, elles seraient situées sur la ligne verticale de la feuille *a*. Or, toutes les feuilles ayant reculé dans le sens de leur spire, d'une quantité fort petite, la feuille *b* présente dans la quantité de son reculement ou de sa déclinaison la somme des déclinaisons des feuilles qui sont au-dessous d'elle, plus la déclinaison qui lui est propre; on en doit dire autant des feuilles *c, d, e;* cette dernière se trouve éloignée de la verticale de la feuille *a* d'un quart de circonférence du scion. Cette quantité est la somme des déclinaisons des 19 feuilles qui lui sont inférieures, plus la déclinaison qui est propre à la feuille *e*. Il résulte de là que les feuilles *b, c, d, e,* qui sont les premières des pentaphylles spiralés, étant considérées à part et comparées entre elles, se trouvent avoir des déclinaisons qui croissent avec régu-

larité; leur série décrit véritablement une spirale autour du scion, auquel il ne manque qu'une plus grande longueur pour qu'on voie le tour de la spire s'accomplir. Ce fait n'a point échappé à la sagacité de Bonnet. On conçoit facilement que si les premières feuilles de chaque pentaphylle spiralé, considérées à part, forment ici une spirale, il en doit être de même des secondes feuilles de chaque pentaphylle spiralé; qu'il en doit être de même des troisièmes, des quatrièmes et des cinquièmes feuilles également considérées à part, en sorte que l'on trouve ici cinq spirales parallèles dont les spires sont très-allongées. Je donne à ces nouvelles spirales le nom de *spirales par déclinaison*, pour les distinguer des *spirales par dissociation* auxquelles appartient la spirale composée de pentaphylles spiralés, que je viens d'étudier, et auxquelles appartient de même la spirale composée de triphylles spiralés, à l'étude de laquelle je passe actuellement.

J'ai fait remarquer plus haut que lorsque les feuilles opposées-croisées sont dissociées d'une manière *sécus-alterne*, elles offrent les éléments de deux spirales différentes; les cinq feuilles comprises entre la première et la sixième qui est située verticalement au-dessus, forment le pentaphylle spiralé, élément de la spirale dans laquelle la première feuille correspond à la sixième. Les trois feuilles comprises entre la feuille la plus haute de la première paire dissociée et la quatrième feuille qui est située verticalement au-dessus, forment le triphylle spiralé, élément de la spirale dans laquelle la première feuille correspond à la quatrième au-dessus. Pour suivre le mode de formation de cette seconde spirale, je commence à compter par la feuille *a* (figure 3, pl. 8), qui est la plus haute de la paire de feuilles dissociées *a'*, *a*, et qui correspond sur la même ligne verticale à la feuille *c*. Transportons-nous pour cela à la fig. 5 (pl. 8), dans laquelle ces feuilles *a* et *c*, qui sont, dans la figure 3, derrière le scion, sont représentées en avant. Ce nouveau scion d'érable offre en bas des feuilles dissociées d'une manière sécus-alterne, et en haut des feuilles disposées en *triphylle spiralé*. En partant de la feuille *a* pour suivre les feuilles supérieures dans leur ordre d'élévation jusqu'à la feuille *c*, qui est située sur la même ligne verticale, on leur trouvera l'ordre suivant : *a*, *b'*, *b*, *c*. La feuille *c*, qui termine ici la spirale, est la quatrième au-dessus de la première feuille *a* de cette spirale, laquelle ne fait qu'un seul tour sur le scion. Or, cette spirale n'est pas régulière; les feuilles qui la composent ne sont pas situées sur des verticales qui partagent la circonférence du scion en trois parties égales. En effet, les deux feuilles *a* et *c* étant et devant demeurer sur la même ligne verticale, les feuilles *b'* et *b* sont situées sur des verticales qui n'en sont éloignées chacune que d'un quart de circonférence, au lieu d'en être éloignées d'un tiers de circonférence du scion, comme cela est nécessaire pour que le triphylle spiralé soit régulier. Il faut donc, pour opérer cette régularisation, que les feuilles *b'* et *b* déclinent vers la partie du scion qui est ici la postérieure jusqu'à ce que leurs verticales soient éloignées d'un tiers de circonférence de la verticale des feuilles immobiles *a*, *c*. C'est en effet ce qui s'effectue plus haut et le triphylle spiralé se trouve régularisé, comme on le voit dans la disposition des feuilles 1, 2, 3, 4. Ici la spire qui commence par la feuille *a* et qui va de là à la feuille *b'* marche de droite à gauche; souvent aussi elle marche de gauche à droite; c'est ce qui arrive lorsque dans la paire de feuilles dissociées *b'*; *b* la feuille *b* est plus basse que la feuille *b'*, au lieu d'être plus haute qu'elle. Cette disposition du triphylle spiralé de gauche à droite est représentée par la figure 6 (planche 8). Ainsi dans le triphylle spiralé, comme dans le pentaphylle spiralé, la direction de droite à gauche ou de gauche à droite de la spire dépend essentiellement de l'ordre d'élévation dans lequel se disposent, l'une par rapport à l'autre, les deux feuilles dissociées de la seconde paire, en prenant pour première paire celle qui fournit la première feuille, ou la feuille la plus basse de la spire.

On peut supposer par la pensée que les trois feuilles qui entrent dans la composition d'un triphylle spiralé, que les cinq feuilles qui composent un pentaphylle spiralé seraient ramenées à la même hauteur verticale par la disparition des mérithalles qui les séparent; alors il y aurait, dans le premier cas, un verticille de trois feuilles, et dans le second cas un verticille de cinq feuilles. L'observation réalise cette supposition par rapport au triphylle spiralé, que j'ai vu devenir un verticille ternaire, chez plusieurs végétaux dont les feuilles sont opposées dans l'état normal. L'érable étant encore de ce nombre, je continuerai à le prendre pour *specimen*. La figure 1 (planche 9) représente un scion de cet arbre, dont les feuilles sont disposées en triphylles spiralés. Or, il arrive assez souvent que ces triphylles spiralés qui occupent la longueur du scion se séparent les uns des autres par le grand développement en longueur du mérithalle qui sépare le premier triphylle du second, le second du troisième, le troisième du quatrième, etc. Ces mérithalles plus longs que les autres apparaissent ainsi entre les feuilles 3 et 4, 6 et 7, 9 et 10, etc. Lorsque cela arrive, les feuilles 4, 5, 6, qui composent le second triphylle spiralé, ne restent point disposées comme on le voit dans la figure 1, elles font toutes ensemble un sixième de révolution sur la circonférence du scion en déclinant soit à droite soit à gauche. Il en résulte que ces feuilles 4, 5, 6, se trouvent portées sur des lignes verticales exactement intermédiaires à celles sur lesquelles sont situées les feuilles du premier triphylle spiralé 1, 2, 3, et les feuilles 7, 8, 9 du second triphylle spiralé, comme on le voit dans la figure 2 (planche 9). Le quatrième triphylle spiralé aura ses feuilles 10, 11, 12 sur la même ligne verticale que les feuilles 4, 5, 6 du second. Ainsi les triphylles spiralés séparés les uns des autres par un long mérithalle se correspondent verticalement de deux en deux. Telle était la disposition des feuilles dans le bas du scion qui est représenté ici; dans la partie supérieure de ce scion, les trois feuilles de chaque triphylle spiralé, rapprochées les unes des autres et ramenées à la même hauteur verticale, formaient des verticilles parfaits, comme on le voit dans la figure 2*. J'ai observé de même chez le frêne (*fraxinus excelsior*) ces divers degrés de transition entre la disposition opposée des feuilles, et leur disposition en verticilles ternaires. La clématite (*clematis vitalba*), la viorne obier (*viburnum opulus*) et le sureau (*sambucus nigra*), dont les feuilles sont opposées dans l'état normal, m'ont offert plusieurs fois des scions sur lesquels les feuilles étaient disposées en verticilles ternaires, mais je n'y ai point vu les divers degrés de la transition entre ces deux dispositions des feuilles. Cette transition s'était opérée dans le bourgeon et sur les germes invisibles des feuilles. Dans tous ces exemples de transmutation des feuilles *opposées-croisées* en feuilles disposées en verticilles ternaires, j'ai vu que les bourgeons axillaires des feuilles verticillées produisaient toujours des scions qui reprenaient l'état normal du végétal, c'est-à-dire la disposition *opposée-croisée* des feuilles. J'ai vu, et cela est fort remarquable, que tant que la tige à verticilles ternaires s'accroît par le développement de son bourgeon terminal, elle continue de posséder son état de transmutation. J'ai observé ainsi pendant quatre années l'accroissement d'une tige d'érable qui possédait des verticilles ternaires. Chaque année le bourgeon terminal, après son repos d'hibernation, développait au printemps un nouveau scion à verticilles ternaires, tandis que tous les scions nés des bourgeons latéraux ne présentaient que des feuilles opposées. J'ai fait la même observation chez le frêne. Ainsi la cause qui a opéré la transmutation agit sans discontinuité dans le sens de l'accroissement terminal de la tige, tandis que son influence est interrompue dans le sens de l'accroissement latéral. Ici le végétal reprend son état normal.

J'ai jusqu'ici considéré les transmutations qui viennent d'être étudiées comme n'affectant que les feuilles; mais ces orga-

nes appartenant aux mérithalles qu'ils terminent, ceux-ci doivent aussi participer à cette transmutation. C'est effectivement ce que l'observation m'a démontré. Les mérithalles naissants de tous les végétaux offrent dans leur système central un certain nombre de faisceaux ligneux, isolés les uns des autres, et entourant la moelle, à laquelle ils forment, dans la suite, un canal complet par leur réunion.

Chez les mérithalles naissants de la clématite, on observe douze faisceaux ligneux: il y en a six gros et six petits, comme on le voit dans la figure 7 (planche 2), qui représente la coupe transversale de l'un de ces mérithalles. Comme il n'y a que deux feuilles opposées à chaque mérithalle, chacune d'elles correspond ainsi à six faisceaux ligneux. Or, j'ai observé que chez les mérithalles naissants du même végétal, qui portent accidentellement des feuilles disposées en verticilles ternaires, il y avait dix-huit faisceaux ligneux. Ici la feuille surnuméraire avait amené avec elle six nouveaux faisceaux ligneux; ceci prouve que chaque feuille possède, dans le mérithalle qu'elle termine, des faisceaux ligneux qui lui appartiennent en propre, et qui la suivent dans tous ses déplacements. Lorsque le mérithalle ne possède qu'une seule feuille, tous ses faisceaux ligneux sont en rapport avec sa feuille unique ou lui appartiennent. Ainsi, s'il arrivait que les feuilles opposées de la clématite se dissociassent, comme on l'a vu plus haut, chez l'érable, les mérithalles, terminés par une seule feuille, n'auraient plus que six faisceaux ligneux, au lieu de douze qu'ils possèdent dans l'état normal. On doit donc considérer chaque mérithalle à feuilles opposées comme formé par la réunion et par la soudure intime de deux mérithalles à feuille unique; on ne peut en effet se refuser à reconnaître que dans le mérithalle de clématite pourvu accidentellement de trois feuilles verticillées, il y a eu adjonction et soudure intime de six faisceaux ligneux appartenant à un mérithalle à feuille unique qui était destiné, dans l'état normal, à faire partie d'un autre mérithalle, lequel eût possédé deux feuilles opposées. Ainsi on doit reconnaître que ce ne sont pas seulement les feuilles qui se déplacent, dans les transmutations que l'on vient d'observer, mais que ces déplacements des feuilles sont accompagnés du déplacement des mérithalles ou des portions de mérithalle auxquels elles appartiennent. Ces observations prouvent que primitivement chaque germe de feuille a son germe de mérithalle dont elle est l'appendice et qui forme avec elle un tout organique individuel et isolé. C'est l'*embryon gemmaire* végétal pourvu d'une seule feuille. Son isolement primitif est suffisamment prouvé par les déplacements qu'on lui voit souvent éprouver. Deux de ces *embryons gemmaires*, associés et intimement soudés l'un à l'autre, forment les mérithalles à feuilles opposées; ces mêmes *embryons gemmaires*, associés par trois, par quatre, par cinq, etc., forment les mérithalles dont les feuilles sont verticillées. Je reviendrai plus bas sur ces faits importants.

On a vu, par les observations précédentes, que la disposition des feuilles en triphylles ou en pentaphylles spiralés, et leur disposition en verticilles ternaires, tirent leur origine, par transmutation, de la disposition opposée-croisée des feuilles. Il est infiniment probable que les verticilles dont les feuilles sont plus nombreuses ont la même origine. En effet, les verticilles ternaires, en se doublant, en se triplant, produiront des verticilles de six et de neuf feuilles. D'un autre côté, on peut concevoir que le pentaphylle spiralé produise, en se contractant, le verticille de cinq feuilles, comme on voit la contraction du triphylle spiralé produire le verticille de trois feuilles. L'analogie est ici tellement évidente qu'elle peut suppléer à l'observation directe qui manque à cet égard. Ainsi tous les verticilles offriront exclusivement les nombres 3 et 5 et leurs multiples. Cela n'a point toujours lieu dans les verticilles des feuilles, parce que, chez eux, il y a de fréquents avortements; ils ne sont pas toujours *complets*, mais les nombres ci-dessus se retrouvent

constamment dans les verticilles floraux, lorsqu'ils sont *complets*. Ainsi, sans sortir des bornes d'une légitime induction, on peut affirmer que tous les verticilles tirent leur origine, par transmutation, de la disposition *opposée-croisée* des feuilles. Voyons actuellement d'où provient leur disposition alterne.

Les feuilles alternes peuvent être considérées comme des feuilles opposées sur deux côtés seulement de la tige, et qui se sont dissociées toutes dans le même ordre; en sorte qu'elles alternent d'un côté à l'autre dans leur succession en hauteur. La vérité de cette théorie m'a été démontrée par l'observation du *potamogeton densum*. Les feuilles de cette plante aquatique sont opposées sur deux côtés seulement de la tige. Or j'ai observé assez souvent que, lorsque cette plante végète avec beaucoup de vigueur et que ses tiges sont très-allongées, ses feuilles opposées se dissocient et deviennent alternes. Il est donc certain que cette dernière disposition des feuilles est le résultat de leur dissociation; leurs germes ont dû être opposés sans croisement dans le bourgeon. Mais cette disposition opposée, sur deux côtés seulement de la tige, disposition qui, par son extrême rareté, semble tant coûter à la nature, est-elle une disposition primitive? je pense que non, et je prouve mon opinion à cet égard par l'observation suivante.

Les feuilles de l'orme (*ulmus campestris*) sont alternes. Or cet arbre, nouvellement sorti des enveloppes de sa graine, ne possède dans le cours de sa première année que des feuilles opposées-croisées; j'ai observé jusqu'à huit paires de feuilles ainsi opposées chez ces jeunes arbres. Dans la seconde année, et quelquefois vers la fin de la première, les feuilles deviennent alternes. Cette transmutation est brusque, en sorte qu'on ne voit point la manière dont elle s'opère. Le mécanisme de cette transmutation a donc lieu dans le bourgeon et sur les germes invisibles des feuilles. Il est évident, d'après ce qui a été exposé plus haut, que la disposition opposée-croisée des germes doit se changer en disposition opposée sur deux lignes seulement, et celle-ci se change en disposition alterne, par la dissociation des feuilles de chaque paire. Ainsi la disposition alterne des feuilles dérive aussi de la disposition opposée-croisée.

Jusqu'ici je n'ai parlé que des spirales simples décrites par les insertions des feuilles sur les tiges; quelquefois ces insertions des feuilles décrivent des spirales multiples et parallèles entre elles. Bonnet a, le premier, noté l'existence de ces spirales parallèles chez les pins. Il a vu, sur les indications de Calandrini, que, chez le pin (*pinus sylvestris*), les feuilles sont disposées selon trois spirales parallèles, et que, dans chacune de ces spirales, la première feuille correspond à la huitième au-dessus; il a vu que, chez le sapin (*pinus abies*), les feuilles sont disposées selon cinq spirales parallèles. M. de Candolle, dans son Organographie végétale, cite des spirales sextuples, observées chez quelques euphorbes; des spirales octuples, observées chez quelques aloès; et enfin il a compté treize spirales parallèles dans les fleurs du chaton mâle du cèdre du Liban. Il s'agit de savoir quelle est l'origine de ces diverses spirales multiples. Ici, pour servir de guide dans les recherches, se trouve l'important travail de M. Alexandre Braun, intitulé *Examen comparatif de la disposition des écailles sur les cônes des pins, pour servir d'introduction à la disposition des feuilles en général* [1].

Un cône de pin ou de sapin présente à la vue des écailles disposées en spirales parallèles. Les plus apparentes de ces spirales sont: 1° cinq spirales parallèles, dirigées de droite à gauche, sur la partie antérieure du cône, 2° huit spirales parallèles, dirigées de gauche à droite, et plus redressées que les précédentes. Cette

[1] Cet ouvrage est écrit en allemand; on en trouve un extrait fait par M. Ch. Martius dans les Archives de Botanique de M. Guillemin, avril 1833, t. 1, p. 317.

direction de ces deux ordres de spirales parallèles s'observe chez le *pinus sylvestris* L. et chez le *pinus pinea* L. Les mêmes spirales ont une direction inverse chez le *pinus maritima* (Lamarck) et chez le *pinus abies* L. En regardant avec plus d'attention, on découvre trois spirales parallèles plus rapprochées de l'horizontalité que les cinq spirales, et tournant en sens contraire. Plus rapprochées encore de l'horizontalité se trouvent deux spirales parallèles, tournant en sens inverse des trois spirales; enfin on arrive à une spirale unique, tournant en sens inverse des deux spirales parallèles, et qui passe par toutes les écailles du cône. Cette spirale unique est nommée, par M. Braun, *spirale génératrice*; c'est d'elle, en effet, que dérivent tous les ordres de spirales parallèles que je viens d'énumérer, et auxquels il faut ajouter treize spirales parallèles, tournant en sens inverse des huit spirales parallèles et dont la spire s'approche de la verticalité. Ainsi, outre la spirale fondamentale ou génératrice, le cône de pin offre cinq ordres de spirales parallèles, dont les spires se redressent de plus en plus de la position presque horizontale vers la position presque verticale. Chacun de ces ordres de spirales marche en sens inverse de celui qu'affecte l'ordre qui le précède et celui qui le suit.

1er Ordre, deux spirales parallèles.
2e Ordre, trois spirales parallèles.
3e Ordre, cinq spirales parallèles.
4e Ordre, huit spirales parallèles.
5e Ordre, treize spirales parallèles.

Les spires de la spirale génératrice sont extrêmement rapprochées les unes des autres, et il résulte de ce rapprochement qu'il s'établit des rapports de série spiralée entre les écailles des tours successifs; rapports qui seraient restés inaperçus, si les tours de la spire génératrice avaient été très-éloignés les uns des autres. M. Braun a donc raison de considérer toutes ces spirales parallèles comme *des apparences mensongères*, *des suites fictives*, comme *un résultat secondaire de la disposition primitive des écailles*. Je reconnais avec lui que la spirale génératrice indique seule la disposition et les rapports véritables des écailles du cône. C'est donc cette spirale génératrice qu'il est important d'étudier. M. Braun a vu que les écailles qui se suivent dans la spire ascendante de cette spirale génératrice ont leurs verticales éloignées les unes des autres de huit vingt et unièmes de la circonférence du cône; d'où il résulte que pour trouver, en montant, une écaille qui soit sur la même verticale que la première, il faut remonter jusqu'à la vingt-deuxième écaille, après avoir fait huit tours de spire. M. Braun a constaté la similitude qui existe entre la disposition des écailles sur le cône et la disposition des feuilles sur la tige de l'arbre auquel ce cône appartient[1]. On va trouver, en effet, cette même spirale génératrice dans la disposition des feuilles sur la tige des pins; il n'y aura d'autre différence entre mes résultats et ceux auxquels est arrivé M. Braun que celle qui doit résulter nécessairement de la différence mathématique qui existe entre un cylindre et un cône.

J'ai représenté, dans la figure 5, planche 9, la disposition des feuilles sur la tige du *pinus sylvestris*. La tige est très-grossie, et les feuilles sont placées dans un état d'écartement suffisant pour rendre facile l'appréciation de leurs rapports, qui, du reste, sont ici soigneusement reproduits. On ne voit, dans cette figure, que les origines des feuilles situées à la partie antérieure de la tige. Celles de ces feuilles *géminées* qui ont leur origine à la partie postérieure sont, dans la figure, déjetées de côté, et elles émergent de derrière la tige à la hauteur de leur origine.

[1] Les écailles des cônes sont indubitablement des feuilles transformées, ainsi que l'a dit M. de Mirbel. J'ai trouvé des cônes monstrueux du *pinus sylvestris*, dont toutes les écailles portaient une feuille à leur pointe, là où l'on voit une sorte d'épine obtuse. C'est cette dernière qui est la feuille avortée. L'écaille est la base élargie de cette feuille.

Les feuilles, par l'ordre dans lequel elles sont numérotées, indiquent la marche de la spirale fondamentale ou génératrice. Cette marche est ici de gauche à droite sur la face antérieure de la tige. Pour reconnaître quel est l'*élément* de cette spirale, il est nécessaire de rappeler ici certains faits qui ont été exposés plus haut.

J'ai reconnu deux *éléments* aux spirales simples : 1° le *triphylle spiralé ;* 2° le *pentaphylle spiralé.* On a vu que la spirale par *dissociation* se trouve modifiée, lorsque les feuilles qui la composent sont affectées d'une déclinaison générale : elle devient alors une spirale *par déclinaison.* Ainsi, une spirale qui est réellement composée de pentaphylles spiralés, et dont, par conséquent, la première feuille doit correspondre verticalement avec la sixième au-dessus, peut changer tellement au moyen de la *déclinaison rétrograde,* que ce soit la neuvième feuille qui corresponde verticalement à peu près avec la première. C'est ce dont j'ai cité un exemple remarquable chez le *laurus nobilis* (figure 4, pl. 9), la plus légère attention suffit pour faire voir que la spirale fondamentale des feuilles du *pinus sylvestris* a pour éléments des *pentaphylles spiralés* altérés par la *déclinaison rétrograde.* En effet, suivons dans la figure la spirale des feuilles dont la marche ascendante est marquée par leurs numéros, nous voyons que la feuille 6 n'est pas située au-dessus de la feuille 1, comme cela devrait avoir lieu si les cinq premières feuilles composaient un pentaphylle spiralé. Cette sixième feuille décline, d'une quantité qui se trouve être de deux vingt et unièmes de la circonférence de la tige, à gauche de la verticale de la feuille 1. C'est ce que l'on peut voir en jetant un coup d'œil sur la figure 6 (planche 9), qui représente la coupe horizontale de la tige : les numéros des feuilles sont placés sur les verticales que ces feuilles occupent. On remarquera que cette déclinaison vers la gauche de la feuille 6 est dans le sens inverse de la marche de la spirale, et que, par conséquent, cette déclinaison est *rétrograde,* ainsi que cela a toujours lieu lorsqu'elle existe. On remarquera, en outre, que la feuille 9 est presque sur la même verticale que la feuille 1 ; sa verticale n'en est éloignée que de un vingt et unième de la circonférence de la tige. Or, cette disposition des feuilles est exactement celle que j'ai notée chez le *laurus nobilis* (figure 4, pl. 9) ; chez ce dernier arbre, la feuille 6 est amenée à gauche de la verticale de la feuille 1 par une déclinaison rétrograde, et la feuille 9 est amenée par la même déclinaison presque à la verticale de la feuille 1. Il n'y a donc pas de doute que la disposition des feuilles ne soit exactement pareille chez le *laurus nobilis* et chez le *pinus sylvestris.* Or, chez le premier arbre, la spirale a pour élément primitif le *pentaphylle spiralé,* il en est donc de même chez le second arbre. Il n'y a de différence réelle, entre les spirales des feuilles de ces deux arbres, que dans l'obliquité plus ou moins grande de leurs spires et dans la grosseur relative de leurs tiges, relativement à l'obliquité de ces spires. Chez le *laurus nobilis,* le scion ou la tige nouvelle est petite, et la spire est très-redressée; chez le *pinus sylvestris,* la tige nouvelle est grosse, et la spire est tellement couchée qu'elle paraît voisine de l'horizontalité. Si le *laurus nobilis* avait un gros scion et une spire presque horizontale, ses feuilles offriraient les mêmes spirales multiples et parallèles que l'on voit sur les tiges nouvelles du *pinus sylvestris* et de la plupart des autres pins. Il n'est donc pas douteux que la spire fondamentale qui engendre les spirales multiples, dans la disposition des feuilles chez les pins, n'ait pour élément constitutif le *pentaphylle spiralé.* Dès lors, toutes les spirales multiples se rattachent au mode d'origine de ce *pentaphylle spiralé.* Toutes ces spirales parallèles, ainsi que la spirale génératrice qui leur sert de base, sont des *spirales par déclinaison.* Dans la spirale génératrice, les feuilles qui se suivent dans l'ascension de la spire ont leurs verticales éloignées, les unes des autres, de huit vingt et unièmes de la circonférence de la tige. Dans le pentaphylle spiralé, les feuilles qui se suivent dans l'ascension de la spire ont leurs verticales éloignées, les

unes des autres, de deux cinquièmes ou de huit vingtièmes de la circonférence de la tige. Il n'y a donc qu'une différence bien légère, sous le point de vue de l'écartement des verticales des feuilles consécutives, entre le pentaphylle spiralé et la *spirale génératrice* dont il est ici question.

Passons actuellement en revue ces diverses spirales que décrivent les feuilles de plusieurs pins sur les jeunes tiges de ces arbres. La figure 5 (planche 9) offre leur disposition rendue sensible par l'amplification de la tige.

La première est la spirale génératrice qui est simple et qui marche ici de gauche à droite. La 22e feuille de cette spirale correspond verticalement à la première. Les numéros des feuilles indiquent, par leur succession, la marche ascendante de la spirale qui fait ici huit tours complets. De cette spirale génératrice dérivent les cinq ordres de spirales parallèles qui suivent.

Le premier ordre de spirales offre deux parallèles qui marchent de droite à gauche. La plus basse des deux parallèles suit les numéros impairs des feuilles; dans cette spirale, la première feuille correspond verticalement à la 22e au-dessus, après huit tours de spire; cette 22e feuille est la 43e de la spire génératrice, laquelle a fait ici 16 tours. La plus haute de ces deux spirales parallèles suit les numéros pairs des feuilles de la spirale génératrice.

Le second ordre de spirales offre trois parallèles qui marchent de gauche à droite. La plus basse des trois parallèles suit les feuilles numérotées 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22. Dans cette spirale, la première feuille correspond verticalement à la huitième au-dessus après trois tours de spire. Cette huitième feuille de la spirale est la 22e de la spirale génératrice, laquelle a fait huit tours. Les feuilles numérotées 2 et 3 servent de commencement aux deux autres parallèles. C'est cette spirale triple qui est la plus apparente dans la disposition des feuilles chez le *pinus sylvestris* et chez plusieurs autres pins.

Le troisième ordre de spirales offre cinq parallèles qui marchent de droite à gauche. La plus basse de ces cinq spirales suit les feuilles numérotées 1, 6, 11, 16 21, etc. Dans cette spirale, la première feuille correspond verticalement à la 22e au-dessus après quatre tours de spire. Cette 22e feuille est la 106e de la spirale génératrice qui a fait ici 40 tours. Les quatre autres spirales parallèles commencent par les feuilles numérotées, 2, 3, 4, 5. Ce sont ces cinq spirales parallèles qui sont les plus apparentes dans la disposition des feuilles chez le sapin (*pinus abies*). Bonnet a dit que dans chacune de ces spirales la première feuille correspondait verticalement à la douzième au-dessus; c'est une erreur.

Le quatrième ordre de spirales offre huit spirales parallèles qui marchent de gauche à droite. La plus basse des huit suit les feuilles numérotées 1, 9, 17, etc. Elle monte ici presque verticalement. Dans cette spirale, la première feuille correspond verticalement, après un seul tour de spire, à la 22e au-dessus, qui est la 169e de la spirale génératrice, laquelle a fait ici 64 tours. Les sept autres parallèles commencent par les feuilles numérotées 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

Le cinquième et dernier ordre de spirales offre treize spirales parallèles qui marchent de droite à gauche, et qui s'approchent encore plus de la verticale que celles de l'ordre précédent. La plus basse de ces treize spirales ne présente sur la figure que deux feuilles numérotées 1 et 14; les autres 27, 40, etc., sont trop hautes pour être vues ici. Dans cette spirale, la première feuille correspond verticalement après un seul tour de spire, à la 22e au-dessus, qui est la 190e de la spirale génératrice, laquelle a fait ici 72 tours. Les douze autres spirales parallèles commencent par les feuilles numérotées 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13.

Les spirales cessent d'être facilement apercevables, lorsque leurs spires se rapprochent de l'horizontalité ou de la verticalité; elles sont dans les conditions les plus favorables pour être vues et appréciées, lorsque leurs spires ont une *obliquité moyenne*, ou qui est entre ces deux

extrêmes. Or, les spirales que je viens d'examiner, ayant naturellement dans leurs spires une obliquité qui croît comme les numéros d'ordre de ces spirales, ou, en d'autres termes, les spirales les plus multiples étant aussi les plus redressées, il en résulte que l'un quelconque de ces ordres de spirales ne peut posséder l'*obliquité moyenne* dont je viens de parler, qu'en altérant l'obliquité des ordres de spirales qui lui sont inférieurs, ou qui lui sont supérieurs. Donnez, par exemple, au troisième ordre de spirales cette obliquité moyenne des spires qui rende ces spirales très-apparentes; les spirales du premier et du second ordre, ayant alors leurs spires rapprochées de l'horizontalité, cesseront d'être facilement apercevables; amenez, par une concentration extrême, les treize spirales parallèles du cinquième ordre à posséder l'*obliquité moyenne* des spires, elles deviendront prédominantes, et les spirales des ordres inférieurs disparaîtront par l'horizontalité presque absolue de leurs spires. Faites le contraire, donnez l'obliquité moyenne à la spirale fondamentale ou génératrice, toutes les spirales multiples disparaîtront par la verticalité presque absolue de leurs spires, et la spirale fondamentale ou génératrice paraîtra seule, comme cela a lieu chez le *laurus nobilis* (figure 4, planche 9).

Tous les pins chez lesquels les feuilles sont disposées en spirales parallèles possèdent donc à la fois tous les ordres de spirales multiples que je viens d'énumérer; mais ce sont spécialement les deux ordres de spirales triple et quintuple qui sont apparents dans la disposition de leurs feuilles. L'ordre triple domine chez le *pinus sylvestris*, chez le *pinus maritima*, chez le *pinus pinea*; l'ordre quintuple domine chez le *pinus abies*. Dans les cônes de tous les pins ce sont les ordres quintuple et octuples qui dominent dans la disposition spiralée des écailles; cela provient du rapprochement plus considérable des spires dans ces cônes, qui sont des tiges contractées. Enfin, dans les chatons du cèdre du Liban, qui doivent être considérés comme des tiges encore plus contractées, ce sont les treize spirales parallèles qui deviennent seules apparentes; toutes les autres à spires plus couchées ont disparu par l'effet de la contraction de la tige.

M. Braun, après avoir fait voir quelles sont les lois qui régissent la disposition des écailles dans les cônes des pins, fait voir que ces lois s'appliquent à la disposition des feuilles chez toutes les plantes, et notamment à la disposition des fleurs sur les réceptacles des composées. Il fait voir, en outre, que les mêmes lois s'appliquent aux involucres verticillés, qui sont indubitablement des spirales aplaties. Ainsi, M. Braun a fait voir qu'à partir des cotylédons les organes appendiculaires de la plante forment un spire non interrompue, soumise à des rapports numériques dont il a donné les expressions; mais il n'a point aperçu la marche que suit la nature dans les transitions de cette spire d'une forme à une autre : il a vu, par des concordances numériques, que les dispositions si diverses des feuilles chez les végétaux dépendaient d'un principe unique, ou d'un fait fondamental, mais il n'a point déterminé ce principe, ce fait fondamental; il a vu que les spirales multiples des cônes des pins tirent leur origine d'une *spirale génératrice*, mais il n'a point remonté à l'origine, à la formation de cette spirale génératrice. J'ai accompli plus haut ce dernier travail, en prouvant que la *spirale génératrice* dont il est ici question dérive, par déclinaison, du *pentaphylle spiralé*; et, comme ce dernier dérive, en dernière analyse, de la disposition *opposée-croisée* des germes invisibles des feuilles dans le bourgeon, il en résulte que cette disposition *opposée-croisée* des germes est le *principe unique*, le *fait fondamental* duquel dérivent toutes les dispositions des feuilles chez les végétaux. Ce fait, que l'*observation visuelle* n'aurait jamais pu démontrer, et qui est ici prouvé de la manière la plus incontestable par l'*observation rationnelle*, est de la plus grande importance, en physiologie, par les déductions qui en découlent;

attachons-nous à les suivre dans leur enchaînement.

Le germe de feuille et le germe de mérithalle, dont cette feuille est l'appendice, forment par leur ensemble l'*embryon végétal gemmaire*.

Deux embryons gemmaires associés forment un embryon gemmaire double (*feuilles opposées*); deux autres embryons gemmaires associés, et dont la ligne d'union croise la ligne d'union des deux premiers, donnent naissance à la disposition *opposée-croisée* des embryons (*feuilles opposées-croisées*).

Dans cet état d'opposition croisée, les embryons sont associés, mais ne sont point unis; ils sont libres, puisqu'ils peuvent se dissocier de diverses manières. Les embryons gemmaires sont donc primitivement isolés et libres d'adhérence; ils ont leur individualité. Les deux embryons gemmaires associés sont nécessairement produits simultanément; ils n'ont l'un sur l'autre aucune autorité d'existence; aussi, lorsqu'ils cessent d'être accolés latéralement, se greffent-ils l'un sur l'autre, tantôt le gauche sur le droit, tantôt le droit sur le gauche. C'est ce que j'ai fait voir plus haut, en déterminant la cause qui fait qu'une spirale marche presque indifféremment de gauche à droite, ou de droite à gauche. Ainsi, de ce qu'un mérithalle à feuille unique fait suite à un autre mérithalle semblable, il ne faut pas conclure qu'il a été produit ou engendré par lui; dans la moitié des cas, c'est un *frère* qui est greffé sur son frère, au lieu de lui être accolé, ainsi qu'il y était originairement destiné. Les embryons gemmaires sont nécessairement *gémeaux*. Il paraît probable qu'ils sont produits ou engendrés par la paire d'embryons gemmaires qui les précède, et dont la ligne d'union croise la leur à angle droit.

De ce que les embryons gemmaires sont nécessairement *gémeaux* il résulte : 1° que les embryons dicotylédons possèdent l'état primitif d'opposition; 2° que les embryons monocotylédons ont déjà fait le premier pas dans la série des transmutations de l'ordre primitif des feuilles; chez eux, la feuille cotylédonaire est unique, ou, quand il y en a deux, elles sont alternes; 3° que les embryons polycotylédons, tels que ceux des pins, ont déjà suivi dans l'infiniment petit une longue série de transmutations, pour arriver de la disposition primitivement opposée des germes embryonaires à leur disposition verticillée. Ces embryons polycotylédons sont véritablement des embryons multiples; ce sont des embryons gemmaires associés en nombre déterminé, et qui n'ont pu parvenir à cette association qu'en suivant les lois qui président à la formation des verticilles, lois que j'ai indiquées plus haut.

Si l'on veut une preuve incontestable de la disposition primitivement *opposée-croisée* des embryons gemmaires chez les végétaux monocotylédons, on la trouvera dans cette considération, que plusieurs de ces végétaux ont leurs feuilles disposées en pentaphylles spiralés, dès qu'ils sortent des enveloppes de la graine. Telle est, par exemple, l'asperge (*asparagus officinalis*) [1]. Or, j'ai prouvé plus haut que le pentaphylle spiralé dérive nécessairement de la disposition *opposée-croisée* des germes des feuilles.

Ainsi, sous le point de vue de la conservation de la disposition originelle, les végétaux dicotylédons marchent en première ligne. Chez eux, l'association binaire primitive des embryons gemmaires existe toujours dans l'état cotylédonaire; elle continue assez souvent de persister chez le végétal parfait; plus souvent cet état primitif subit des transmutations diverses, mais la manière dont ces transmutations s'opèrent permet, dans certains cas, de remonter à leur source, c'est-à-dire à la

[1] Je n'entends parler ici que des feuilles *squammeuses* qui sont les *feuilles stipules* de l'asperge, et non des feuilles linéaires qui sont des rameaux métamorphosés ou des *feuilles ramules*. Voyez plus haut, page 108, la distinction que j'ai établie entre ces deux sortes de feuilles.

disposition originelle. C'est ici l'un des plus précieux secours que la science physiologique des végétaux puisse recevoir de l'étude des monstruosités.

De ce que les embryons gemmaires sont primitivement isolés, quoique associés par paires; de ce que ces embryons gemmaires peuvent, en se dissociant, s'élever l'un au-dessus de l'autre, et mettre ainsi au grand jour leur individualité, il résulte qu'ils possèdent chacun toutes les parties constitutives d'une tige; ils ont chacun leur système central et leur système cortical. Lorsqu'ils sont réunis et soudés deux à deux, ou en plus grand nombre, ils perdent, au point d'adhérence, chacun une partie de leur système cortical, et ils mettent leurs moelles en commun, en sorte qu'il n'y a plus alors, pour tous les embryons gemmaires soudés ensemble, qu'une seule moelle centrale et qu'une seule écorce.

Dans presque toutes les dispositions anormales des feuilles que nous offrent les végétaux, la nature procède par *excès de développement*, c'est-à-dire en avançant dans la série naturelle des transmutations plus loin que ne le voudrait la conservation de l'état normal. Les végétaux à feuilles *opposées-croisées* qui, dans leur état normal de développement, conservent la disposition primitive des embryons gemmaires, sont de tous les végétaux ceux qui offrent le plus de dispositions anormales des feuilles, et ces dispositions anormales sont nécessairement toutes des *excès de développement*; nous avons observé ici la formation du triphylle spiralé, du pentaphylle spiralé et du verticille ternaire. Les dispositions anormales des feuilles, par *arrêt de développement*, sont beaucoup plus rares : ainsi, lorsque plus haut j'ai cité le fait d'un scion de poirier dont les feuilles étaient *opposées-croisées* d'une manière à peu près exacte, cela provenait d'un *arrêt de développement*. Ici, la nature s'était arrêtée à la disposition primitive des embryons gemmaires; elle n'avait point marché dans la série des transmutations jusqu'au pentaphylle spiralé, état normal des feuilles chez le poirier.

La force qui opère la disposition des embryons gemmaires végétaux agit primitivement en les associant par deux, en sorte que les végétaux sont, dans l'origine, *symétriques binaires*, comme le sont presque tous les animaux. Plus tard cette même force agit en dissociant les embryons gemmaires chez les nombreux végétaux dont les feuilles sont isolées; continuant son action, cette même force agit de nouveau en associant les embryons gemmaires, et elle produit les verticilles des feuilles et les verticilles floraux. Ces verticilles ne doivent donc offrir, dans les nombres de leurs éléments, que les seuls nombres qui peuvent dériver des divers modes de dissociation des embryons gemmaires *opposés-croisés*. C'est effectivement ce que l'observation démontre, surtout par rapport aux verticilles floraux, qui sont moins sujets que les verticilles des feuilles, aux avortements qui altèrent souvent le nombre de leurs éléments primitifs. Les verticilles floraux, c'est-à-dire les verticilles formés par les sépales du calice, par les pétales de la corolle, par les étamines et par les styles, offrent généralement les nombres *premiers* (ou sans autre diviseur qu'eux-mêmes) 2, 3, 5, ou leurs multiples. Or le nombre *premier* 2 représente l'association binaire primitive des embryons gemmaires; les nombres *premiers* 3 et 5 représentent les seules combinaisons numériques qui puissent résulter de la dissociation des embryons gemmaires *opposés-croisés*, ainsi que je l'ai démontré dans le mode d'origine du triphylle spiralé et du pentaphylle spiralé. Quant au tétraphylle spiralé qui résulte aussi d'un mode particulier de dissociation des embryons gemmaires *opposés-croisés*, il est évident que le nombre 4, qu'il présente, se trouve également dans la disposition primitive des deux paires voisines de ces embryons gemmaires *opposés-croisés*. Nous voyons ainsi pourquoi l'arithmétique des végétaux est généralement fondée sur les nombres *premiers* 2, 3 et 5. Ce sont en effet ces nombres qui seuls sont offerts par les *spirales par dissociation*, et par conséquent par les verticilles, qui

ne sont, dans le fait, que des spirales aplaties. On a vu plus haut que la spirale composée de pentaphylles spiralés, et qui est une *spirale par dissociation*, peut donner naissance, au moyen d'une certaine déclinaison des feuilles, à une *spirale par déclinaison* dans laquelle la première feuille correspond verticalement à la vingt-deuxième au-dessus, en sorte que le verticille qui résulterait de cette spirale aplatie serait composé de vingt et une feuilles : ici nous trouvons un nouveau nombre *premier*, le nombre 7 multiplié par 3; il peut donc y avoir des verticilles floraux de vingt et une parties : c'est probablement ce nombre, avec ses multiples, qui préside à la disposition des fleurs sur le réceptacle des composées, comme il est certain que c'est lui qui préside à la dispo sition des écailles sur les cônes des pins et à la disposition des fleurs sur les chaton du cèdre du Liban. Pour ce qui est du nombre 7 qui se trouve dans les étamines du marronnier d'Inde (*æsculus hypocastanum*) il paraît qu'il en faut attribuer l'existence à un avortement d'étamines dans cette fleur irrégulière. Il est bien reconnu, en effet, aujourd'hui, que, suivant les vues de M. H. Cassini, l'irrégularité des fleurs tient à un avortement de quelques-unes de leurs parties.

Il résulte de ces observations que le nombre 2 est le fondement de toute l'arithmétique végétale : c'est de lui que dérivent *par dissociation* les nombres premiers 3 et 5 et *par déclinaison* le nombre premier 7 ; c'est le nombre premier le plus élevé de l'arithmétique végétale : le nombre premier 11 lui est totalement étranger; quant au nombre premier 13 que nous trouvons avec M. de Candolle dans le nombre des spirales parallèles que décrivent les fleurs sur les chatons du cèdre du Liban, spirales que M. Braun a trouvées également dans les cônes des pins, il n'entre point véritablement dans l'arithmétique végétale; car si l'on supposait ces treize spirales parallèles aplaties et réduites en verticilles successifs, chacun de ces verticilles aurait vingt et une parties, en sorte que c'est véritablement le nombre 7 multiplié par 3, qui existe ici, et non le nombre 13, qui n'est ici qu'une illusion mensongère. M. Turpin, dans son Mémoire intitulé : *Aperçu organographique sur le nombre deux*, a fait observer que ce nombre *deux* paraît être affecté au caractère des végétaux inférieurs, comme le nombre *trois* paraît être affecté au caractère des végétaux monocotylédons, comme le nombre *cinq* paraît être affecté au caractère des végétaux dicotylédons. Il est singulièrement remarquable de voir les trois nombres premiers 2, 3, 5 affectés spécialement aux trois grandes classes de végétaux; on a vu plus haut que le nombre premier 7 est affecté aux conifères dont les embryons séminaux sont polycotylédons, et qui peuvent ainsi être considérés, à quelques égards, comme formant une quatrième classe de végétaux élevés dans l'échelle végétale au-dessus des dicotylédons : ainsi on voit le nombre *caractéristique* devenir plus grand à mesure qu'on s'élève dans l'échelle végétale et ne pas dépasser le nombre 7. On a vu que le nombre *deux* est le fondement de toute cette arithmétique végétale: et que c'est de lui que dérivent les nombres premiers et impairs 3, 5 et 7. Ce nombre 2, qui est le caractère de la symétrie binaire ou de la *dualité* qui appartient à tout le règne animal (car il n'est pas tout à fait étranger aux zoophytes), est donc aussi le caractère fondamental du règne végétal : tous les végétaux possèdent ce caractère dans leur état embryonaire, plusieurs le conservent dans leur état parfait. Lorsque, dans ce dernier état, ils offrent d'autres nombres, ceux-ci sont les résultats des diverses combinaisons numériques qui se sont effectuées par les divers modes de dissociation des *embryons gemmaires* doubles et souvent par l'association nouvelle et multiple de ces embryons dissociés, en sorte que la trace de la dualité primitive se trouve effacée [1].

[1] Ce mémoire a été lu à l'Académie des Sciences de l'Institut le 28 avril 1834. Or, dans un mémoire

VI.

OBSERVATIONS

SUR

LA FORME ET LA STRUCTURE PRIMITIVES

DES EMBRYONS VÉGÉTAUX [1].

INTRODUCTION.

La nécessité de multiplier les observations, de les étendre à un grand nombre d'espèces, est sentie par tous les physiologistes éclairés. Ils savent que la nature, généralement jalouse de la conservation de ses secrets, semble dans quelques cas rares avoir oublié les précautions qu'elle prend ordinairement pour nous les cacher. Ce sont ces cas rares qu'il faut rechercher, et l'on ne peut guère les rencontrer qu'en promenant des regards d'investigation sur le plus grand nombre possible d'objets. C'est ainsi que nous allons trouver dans l'étude de certains cas rares de la végétation des révélations importantes sur certains points de l'anatomie et de la physiologie végétales, et spécialement sur la structure primitive des embryons végétaux.

Les végétaux se reproduisent par semences et par bourgeons; il y a ainsi chez eux des *embryons séminaux* et des *embryons gemmaires*. Les embryons séminaux se présentent toujours, dans le principe, sous la forme globuleuse, lorsqu'on les examine à l'époque de leur apparition dans les graines. Bientôt ils perdent cette forme primitive pour prendre la forme secondaire sous laquelle ils achèvent leur vie embryonnaire dans l'intérieur de la graine. La structure intérieure de l'embryon, à l'époque où il est encore globuleux, n'a jamais pu être observée, à raison de l'extrême petitesse de cet em-

de M. Stenheil, publié dans le cahier de janvier 1834 des Annales des Sciences naturelles, se trouve un *post-scriptum* daté du 14 décembre 1833, dans lequel cet auteur dit qu'il voulait *entreprendre de prouver que les feuilles des dicotylédons sont toujours normalement opposées, et de montrer suivant quel mode cette organisation normale est dérangée*. On pourrait penser, d'après cela, que M. Stenheil m'aurait devancé dans la découverte du fait de l'opposition primitive des feuilles chez les dicotylédons. Je dois donc dire ici que la publication de ma découverte à cet égard a de beaucoup précédé la publication du mémoire de M. Stenheil. Cet observateur annonce avoir lu son mémoire à la Société d'histoire naturelle de Paris le 3 février 1832; le mien a été publié en extrait dans les Annales de la Société d'agriculture, sciences, arts et belles-lettres du département d'Indre-et-Loire, au mois de février 1831, tome XI, page 10.

[1] Ce mémoire a été publié en 1835 dans les Nouvelles Annales du Muséum d'histoire natrelle, tome IV.

bryon. Les embryons gemmaires ne sont point apercevables ordinairement sous leur forme primitive, laquelle cependant a été aperçue par M. Turpin, dans un cas très-rare de la végétation. Une feuille d'*ornithogalum thyrsoides*, conservée dans un herbier, développa dans son parenchyme une quantité considérable de corps globuleux qui formaient saillie la plupart à la face supérieure de la feuille, et le plus petit nombre à sa face inférieure. Beaucoup de ces petits corps globuleux offraient un commencement de végétation : cela fit reconnaître en eux des bulbilles qui devaient reproduire la plante à laquelle appartenait la feuille dans le parenchyme de laquelle ces embryons étaient nés. En effet, M. Turpin ayant planté un de ces embryons végétaux, il reproduisit l'*ornithogalum thyrsoides*. M. Turpin n'a point eu l'idée d'observer la structure intérieure de ces embryons gemmaires globuleux. Le hasard m'a fourni l'occasion de faire cette observation sur des embryons gemmaires globuleux produits dans le parenchyme d'une feuille de plante dicotylédone. Des ouvriers travaillant à la terre dans un lieu ombragé, j'aperçus sur la terre qu'ils avaient remuée une portion de feuille sur la face supérieure de laquelle il y avait six embryons gemmaires globuleux, et de couleur blanche, qui me parurent semblables à ceux que M. Turpin avait observés sur la feuille de l'*ornithogalum thyrsoides*. Il ne me fut pas possible de savoir à quelle plante appartenait cette portion de feuille qui me parut provenir d'une feuille radicale, laquelle aurait été recouverte accidentellement de terre, car elle était étiolée. Trois de ces embryons gemmaires adventifs étaient tout à fait globuleux, les trois autres étaient terminés en pointe à leur partie supérieure (Pl. 10, f. 1, *a*, *b*); les embryons globuleux étaient assez développés pour permettre l'examen de leur structure intérieure. Je vis, en les coupant par tranches dans plusieurs directions, qu'ils étaient généralement composés de cellules décroissantes de grandeur de la circonférence vers le centre, en sorte que ces embryons gemmaires avaient intérieurement la constitution d'une sphère comme ils en possédaient extérieurement la forme. C'était au mois d'août que j'avais fait cette rencontre. Je détachai de la feuille des embryons plus avancés qui me restaient, et je les plaçai dans un pot sur de la terre entretenue constamment humide. Deux de ces embryons végétaux périrent, le troisième ne commença à montrer des phénomènes de végétation qu'au commencement du printemps suivant; il produisit inférieurement plusieurs petites racines, et de sa partie supérieure il sortit une petite tige terminée par deux petites feuilles opposées, sessiles et ovales (f. 2). Ensuite, au sommet de cette petite tige, et entre les deux petites feuilles primordiales qui simulaient deux cotylédons, il se développa une feuille cordiforme à long pétiole, à laquelle se joignit, peu de temps après, une autre feuille semblable dont le pétiole s'insérait entre les deux feuilles ovales primordiales. Ce fut alors qu'un accident compromit gravement l'existence de ma jeune plante, en sorte qu'ayant peu d'espoir de la conserver, lorsque je publiai ce mémoire pour la première fois, je pris le parti de donner la figure de l'une de ses feuilles (fig. 3) afin de faciliter sa détermination. Les premières feuilles des plantes sont presque toujours différentes de celles qu'elles produisent dans la suite. Je reconnus que les feuilles de ma jeune plante étaient celles que possède la renoncule bulbeuse (*ranunculus bulbosus* L.) dans sa jeunesse. Ces premières feuilles sont cordiformes et obtuses à leur sommet; elles ne ressemblent point aux feuilles profondément incisées et même souvent trilobées que possède cette plante quand elle est adulte. J'ai obtenu depuis la confirmation de cette détermination spécifique, ma jeune plante que j'avais crue morte ayant repoussé au printemps suivant. Ainsi il m'est complétement démontré que c'est la renoncule bulbeuse qui fait le sujet de l'observation qui vient d'être exposée, observation que je place ici, parce qu'elle coïncide tout à fait avec les observations qui vont suivre sur la

structure primitivement globuleuse des embryons végétaux.

PREMIÈRE PARTIE.

OBSERVATIONS SUR LA FORME PRIMITIVE DE L'EMBRYON SÉMINAL DU TAMME (*tamus communis*), AINSI QUE SUR LA STRUCTURE ET LE DÉVELOPPEMENT DE CETTE PLANTE.

Le Tamme, plante monocotylédone de la famille des Asparagées, possède une grosse racine vivace et tubéreuse, et une tige annuelle grêle et grimpante; son fruit est une baie à trois loges, qui contiennent chacune deux graines lorsqu'il n'y a point d'avortement. La grosse racine tubéreuse de cette plante est véritablement une *tige souterraine*, comme le sont tous les corps radiciformes que les phytologistes désignent sous le nom général de *rhizômes;* cependant elle diffère essentiellement de la plupart d'entre eux par son mode d'accroissement. Les rhizômes des iridées et des nymphéacées, par exemple, ne s'accroissent en longueur et en grosseur que par celle de leurs extrémités qui donne naissance à la tige aérienne; l'extrémité opposée ne s'accroît point du tout, et souvent même elle meurt et se décompose. Chez le rhizôme ou corps radiciforme tubéreux du Tamme, c'est au contraire l'extrémité opposée à celle qui donne naissance à la tige aérienne, qui seule s'accroît en longueur, au moins d'une manière très-sensible, et en même temps tout ce corps tubéreux s'accroît progressivement en grosseur. Les rhizômes sont assez généralement couchés horizontalement dans le sol; le corps radiciforme tubéreux du Tamme affecte toujours une direction verticale; il ressemble à une grosse racine pivotante. On va voir l'origine et suivre le développement de ce corps tubéreux; mais auparavant j'étudierai la graine du Tamme et l'embyron séminal qu'elle contient.

La graine du Tamme est ronde; elle a, lors de sa maturité, environ quatre millimètres de diamètre. Cette dimension est très-suffisante pour que l'on puisse étudier avec facilité son organisation intérieure. Cette graine offre à l'observation deux enveloppes, toutes les deux fort minces, l'une extérieure qui est verte et qui deviendra brune dans la suite, l'autre intérieure qui est blanche ou diaphane. C'est dans l'intérieur de cette dernière que se trouve le périsperme à la base duquel est situé l'embryon. Ce périsperme est composé de séries rectilignes de cellules qui convergent vers le centre de la graine, ou plutôt vers son axe central, comme on le voit dans la figure 4 (planche 10). Les cellules les plus grosses de chacune de ces rangées sont à la circonférence; elles vont en diminuant de grosseur vers le centre. Ces cellules articulées en séries rectilignes et convergentes offrent cela de très-remarquable, qu'elles sont composées chacune de deux cellules emboîtées l'une dans l'autre. La figure 5 représente très-grossies ces cellules emboîtées : *a*, cellule extérieure; *b*, cellule intérieure remplie d'une substance granuleuse. La matière granuleuse que contient la cellule intérieure *b* est concrescible par l'alcool. C'est ce que j'ai vu en observant au microscope le périsperme des graines du Tamme recueillies à différentes époques de leur développement et conservées dans l'alcool. Ce liquide, en coagulant la matière granuleuse contenue dans la cellule intérieure *b*, réduit cette matière au tiers environ de son volume; en sorte que la cellule qui la contient demeure en partie vide. La figure 6 représente ce nouvel état : *a*, cellule extérieure; *c*, matière granuleuse contenue dans la cellule intérieure. Cette matière, coagulée par l'action de l'alcool, est réduite aux deux tiers environ de son volume primitif; *b*, portion de la cellule intérieure demeurée vide. On voit que la membrane qui constitue cette cellule intérieure est granuleuse et à demi opaque, ce en quoi elle diffère essentiellement de la membrane diaphane qui constitue la cellule extérieure *a*.

En écrasant dans l'eau le tissu organique représenté par la figure 6, le hasard des déchirements a isolé quelquefois les unes des autres les trois parties qu'on y

distingue, savoir : le grumeau de matière granuleuse concrétée *c*; la cellule intérieure *b*, qui est fort mince, à texture granuleuse; et enfin la cellule extérieure *a*, qui est diaphane, et dont les parois sont fort épaisses. C'est cette épaisseur des parois de la cellule extérieure *a* qui se manifeste par transparence autour de la cellule intérieure *b*, qui est en contact immédiat avec la cellule à parois épaisses et transparentes qui la recouvre.

Je vais suivre la germination de la graine de Tamme et l'évolution de son embryon; mais auparavant je rappelle ici sommairement ce que l'on sait sur les phénomènes que présentent généralement les embryons séminaux en germination. Le premier de ces phénomènes est le développement du caudex descendant, c'est-à-dire de la partie pivotante de l'embryon, qui est située au-dessous de l'insertion cotylédonaire, et qui comprend deux parties qu'il est fort important de distinguer, savoir : 1° la partie immédiatement inférieure à l'insertion cotylédonaire, partie plus ou moins allongée que certains botanistes ont nommée *le collet*, et que l'on doit avec plus de raison nommer *la tigelle* avec feu Richard et avec M. de Candolle; 2° *la radicule*, qui fait suite inférieurement à la tigelle. C'est le point de séparation plus ou moins visible de ces deux parties qui doit seul porter le nom de *collet*. La *tigelle* est véritablement le premier mérithalle de la plante; c'est de son sommet que naît la gemmule qui est le second mérithalle. Tantôt le premier mérithalle s'allonge dans l'air et devient une tige sans aucune ambiguïté; tantôt ce même premier mérithalle demeure enfoncé, comme la radicule qui lui fait suite, dans la terre, où il acquiert l'apparence d'une racine. C'est ainsi que M. Turpin [1] a démontré que la partie renflée et comestible de la rave et du radis, que l'on prend ordinairement pour une racine, est véritablement le premier mérithalle de la plante. L'extrémité supérieure du premier mérithalle supporte le cotylédon unique, ou les deux cotylédons.

Ces observations préliminaires vont guider dans l'étude de l'évolution de l'embryon du Tamme.

La graine de cette plante monocotylédone offre un embryon tout à fait globuleux dans le principe; lorsque la graine est avancée vers l'époque de sa maturité, l'embryon devient pyriforme, comme on le voit en *a* (figure 4). La partie renflée de cet embryon pyriforme est l'embryon globuleux primitif; la partie conique est le cotylédon.

Lors de la germination, le cotylédon se développe sans sortir de l'intérieur de la graine où il est environné par le périsperme, dont il absorbe la substance nutritive. Il se comporte exactement à cet égard, comme le cotylédon de l'embryon séminal de l'asperge (*asparagus officinalis*). En même temps, l'embryon globuleux et son caudex descendant se produisent au dehors, comme on le voit dans la figure 7, qui représente la graine du Tamme nouvellement germée : *d*, graine dans laquelle le cotylédon est demeuré renfermé; *b*, caudex descendant surmonté par la partie globuleuse *a* de l'embryon. Bientôt de la surface du petit corps globuleux *a* il se détache une feuille *i* (figure 8), qui était étroitement appliquée sur lui. Cette feuille, sessile et pourvue d'une nervure médiane, est très-délicate et transparente; elle ne devient point verte, quoique exposée à la lumière. Peu après, le petit corps globuleux *a* produit à sa partie supérieure une petite feuille *f* portée sur un long pétiole. La graine *d*, dont on a seulement ici marqué le contour par des points, est censée enlevée, afin de faire voir le cotylédon *c* qu'elle renferme; le caudex descendant *b* est couvert de poils. On voit ainsi que la feuille sessile *i* est exactement opposée au cotylédon *c*; cette feuille sessile est donc véritablement un second cotylédon, lequel est différent par sa forme du cotylédon opposé *c*, qui n'a pu s'étendre de même à raison de son emprisonnement dans l'intérieur de la graine, où il est environné par le périsperme. Il résulte de là que

[1] Annales des Sciences naturelles, nov. 1830.

l'embryon séminal du Tamme est véritablement dicotylédon ; mais il n'y a qu'un seul de ses deux cotylédons qui lui soit utile : c'est le cotylédon *c* qui est renfermé dans l'intérieur de la graine, dont il absorbe le périsperme : quant au cotylédon opposé *i*, il meurt et disparaît quelques jours après son éphémère apparition. Pour le voir avec facilité, il faut faire germer des graines de Tamme dans de la mousse humide, car ce second cotylédon est d'une texture extrêmement délicate ; il disparaîtrait dans la terre.

L'insertion des deux cotylédons *c, i,* indique le sommet du caudex descendant *b*, dans lequel la tigelle n'est pas facile à distinguer de la radicule. Ce caudex descendant est entièrement couvert de poils ; or, comme toutes les racines naissantes du Tamme offrent ce même phénomène extérieur, on peut être porté à considérer ce caudex descendant tout entier comme étant la radicule. Alors il ne resterait, pour la tigelle, que ce qui sépare les deux cotylédons ; cette tigelle serait fort courte et rudimentaire. Au-dessus de cette tigelle ou de ce premier mérithalle rudimentaire se trouve le corps globuleux *a* qui est le second mérithalle de la jeune plante, c'est-à-dire la *gemmule*. Ce second mérithalle porte une seule feuille *f*, munie d'un long pétiole et semblable, pour la forme, aux feuilles normales du Tamme adulte. Dans l'aisselle de cette feuille, on voit en *o* un petit bourgeon qui est le rudiment de la tige annuelle, laquelle se développera dans la seconde année ; car c'est ici que s'arrête le développement de l'embryon du Tamme dans l'année de sa germination. Celle-ci a lieu vers le commencement de mai. Le cotylédon secondaire *i* (fig. 8) meurt et se décompose au bout de quelques jours. La radicule *b* meurt environ un mois après la germination : alors la nutrition de la jeune plante s'opère par des racines latérales, qui sont nées de très-bonne heure près de l'origine de la radicule, comme on le voit dans la figure 8. Le principal cotylédon *c* demeure vivant tant que le périsperme, au milieu duquel il est situé et qu'il absorbe, n'est pas épuisé ; sa vie persiste ainsi jusque vers le milieu de l'été, après quoi il meurt et se détache : le premier mérithalle rudimentaire auquel il adhère disparaît également. Il résulte de là que la jeune plante, dépouillée ainsi de sa radicule, de son premier mérithalle rudimentaire et de ses deux cotylédons *c*, *i*, se trouve réduite à son second mérithalle globuleux *a*, que surmonte une petite feuille à long pétiole, dans l'aisselle de laquelle est placé le bourgeon de la tige annuelle de l'année suivante, et qui est pourvu de plusieurs petites racines toutes latérales. Ce second mérithalle globuleux *a* demeure souterrain ; et lorsqu'à l'automne la feuille qui le surmonte meurt et se dessèche, il demeure vivant. C'est alors un petit corps blanc parfaitement sphérique et pourvu de racines latérales qui sont vivantes comme lui : c'est une véritable tige radiciforme tubéreuse qui s'accroît par un mécanisme particulier, ainsi que cela va être exposé tout à l'heure, et qui devient la base fondamentale et persistante de la tige annuelle du Tamme. Arrêtons-nous un peu à ces observations avant d'aller plus loin. La partie globuleuse (*a*, fig. 4) de l'embryon contenu dans la graine, est formée par la réunion à l'état d'emboîtement du premier et du second mérithalle de la plante. Le principal cotylédon qui appartient au premier mérithalle s'est développé et doit rester renfermé dans la graine ; le second cotylédon enveloppe encore le second mérithalle. Lors de la germination, ce corps embryonnaire globuleux est porté tout entier, par le développement, hors des enveloppes de la graine, comme on le voit dans la figure 7, et il développe la radicule ainsi que le second cotylédon qui appartiennent exclusivement au premier mérithalle. Quelque temps après, ce premier mérithalle meurt et disparaît tout entier avec sa radicule et ses deux cotylédons ; alors le second mérithalle, qui a conservé la forme globuleuse embryonnaire qu'il avait dans la graine, demeure seul ; il devient tubéreux, et forme ainsi ce que j'appelle le *mérithalle fondamental* de la plante. C'est de lui que sortiront toutes les tiges an-

nuelles et toutes les racines. La conservation de sa forme globuleuse embryonnaire, sous un développement en grosseur assez notable, permet de penser que son organisation intérieure embryonnaire se sera aussi conservée, en sorte qu'il sera possible de l'étudier. La disparition complète du premier mérithalle de la plante, et la conservation à l'état vivace et tubéreux de son second mérithalle, est un fait d'autant plus remarquable que ce n'est point ainsi que les choses se passent chez les végétaux véritablement dicotylédons. Chez eux, c'est presque toujours le premier mérithalle de l'embryon qui est le *mérithalle fondamental* de la plante; aussi la radicule qui émane de ce premier mérithalle ne se supprime-t-elle point ordinairement chez eux, ainsi que cela paraît avoir généralement lieu chez les plantes monocotylédones.

Je reviens à l'observation de l'accroissement du Tamme. Dans l'année qui suit celle où la germination a eu lieu, il se développe une nouvelle tige annuelle fort petite et terminée par une feuille unique : elle part du petit bourgeon *o* (fig. 8); alors la plante se présente sous l'aspect représenté par la figure 9. Le corps sphérique et tubéreux *a* est le second mérithalle *a* (fig. 8), duquel se sont détachés le premier mérithalle et les deux cotylédons : il est pourvu de racines latérales; mais il ne naît aucune racine à sa partie inférieure par laquelle il adhérait antérieurement au premier mérithalle et à la radicule qui ont disparu. Ce petit corps tubéreux augmente alors en grosseur, en conservant toujours sa forme sphérique. Blanc extérieurement, il commence à devenir noirâtre vers la fin de cette seconde année. Dans la troisième année, ce corps tubéreux souterrain ou ce *mérithalle fondamental* de la plante s'allonge en ellipsoïde et il demeure toujours dépourvu de racines à sa partie inférieure qui est arrondie, comme on le voit dans la figure 10. Dans les années suivantes, ce corps tubéreux s'allonge de plus en plus en acquérant en même temps plus de grosseur, comme on le voit dans la figure 11. Son extrémité inférieure, par laquelle s'opère l'allongement, ainsi qu'on va le voir tout à l'heure, reste toujours fort grosse, obtuse et arrondie : elle ne se termine jamais par une racine pivotante. C'est véritablement toujours ici le second mérithalle de la plante devenu tubéreux et qui s'accroît en longueur par un développement descendant très-considérable, en même temps qu'il s'accroît en grosseur par un développement bien moins énergique. Les racines naissent exclusivement sur les côtés de ce mérithalle fondamental tubéreux et vivace qui, par le progrès de l'âge, acquiert ainsi jusqu'à un pied et demi de longueur et jusqu'à quatre pouces de diamètre à sa partie supérieure. Dans son accroissement descendant, il conserve toujours son extrémité inférieure grosse et arrondie. Cette extrémité inférieure est noire en automne, comme le reste de la surface de ce corps tubéreux; mais au printemps, surtout lorsque son élongation descendante est rapide, cette extrémité inférieure devient blanche, comme on le voit en *p* (fig. 10, 11). Cette extrémité inférieure *p* ressemble alors à une grosse spongiole. Assez souvent il arrive que ce corps tubéreux se bifurque par son extrémité inférieure, comme on le voit dans la figure 13; alors ses deux extrémités inférieures *p*, *p'*, s'accroissent simultanément en descendant. Cette bifurcation descendante du mérithalle fondamental tubéreux se produit par le mécanisme suivant : Il n'existe, dans le principe, qu'une seule extrémité inférieure *p* (fig. 12); c'est par elle que s'opère exclusivement alors l'élongation descendante du mérithalle fondamental tubéreux. Or, il arrive assez souvent qu'il se manifeste latéralement, sur ce corps tubéreux, une excroissance arrondie *p*, laquelle, en continuant de s'accroître en longueur, devient une seconde extrémité inférieure telle qu'on la voit en *p'* (fig. 13). Le mérithalle fondamental tubéreux du Tamme, lorsqu'il est très-vieux, m'a offert jusqu'à seize de ces prolongements descendants analogues à des racines, mais qui en diffèrent essentiellement par leur volume comme par leur structure.

Recherchons actuellement quelle est l'organisation de ce mérithalle fondamental tubéreux, nous apprendrons par là quel est le mécanisme de son élongation descendante et celui de son accroissement en diamètre. Dans l'année où la germination s'opère et dans l'année suivante le mérithalle fondamental tubéreux *a* (fig. 8 et 9) conserve sa forme sphérique primitive. L'observation microscopique de sa structure intérieure fait voir qu'il est en majeure partie composé de rangées de cellules qui convergent de toutes parts vers le centre de ce corps sphérique, comme on le voit dans la fig. 1, pl. 11. C'est la coupe longitudinale ou verticale de ce mérithalle fondamental sphérique, que l'on voit ici; son centre est occupé par des cellules irrégulièrement hexagonales, lesquelles constituent une véritable moelle : celle-ci est enveloppée par une épaisse couche d'un tissu composé de rangées rectilignes de cellules, rangées qui s'étendent, comme des rayons, de la moelle à l'écorce. Les cellules articulées les unes avec les autres, qui composent ces rayons, décroissent de grandeur du centre vers la circonférence, ainsi que cela s'observe généralement dans les organes cellulaires qui entrent dans la composition du système central des végétaux dicotylédons.

Les cellules articulées qui composent ces rayons, et les cellules diffuses qui constituent la moelle, sont remplies par un nombre immense de globules extrêmement petits; il n'en existe point dans les dernières celulles de chaque rangée, c'est-à-dire dans celles qui sont voisines de l'écorce. Ces cellules, dont la cavité est dépourvue de globules, sont celles dont la production est la plus récente ou qui sont les plus jeunes; car elles sont plus petites que les cellules plus voisines du centre et qui appartiennent à la même rangée. Ainsi il est certain que les rayons concentriques du mérithalle fondamental tubéreux du Tamme, s'accroissent en longueur par un rayonnement centrifuge; leurs nouvelles cellules sont produites dans l'endroit où ces rayons touchent au système cortical; ce dernier est composé de cellules diffuses et dépourvues de globules intérieurs; l'enveloppe tégumentaire de ce mérithalle fondamental tubéreux est formée par une couche irrégulière de cellules aplaties et jaunâtres.

La coupe horizontale de ce mérithalle fondamental tubéreux n'offre presque point de différence avec sa coupe verticale, ainsi qu'on le voit dans la figure 2 (planche 11), qui représente cette coupe horizontale; seulement, chez cette dernière, on voit que les cellules de l'écorce paraissent ovales, tandis qu'elles paraissent sphériques dans la coupe verticale (fig. 1). Cela prouve que les cellules corticales sont ellipsoïdes et allongées suivant la direction de la circonférence horizontale de ce mérithalle fondamental tubéreux. Dans quelque sens que ce corps sphérique soit partagé par la moitié, il se présente toujours composé de rayons concentriques; ainsi, ce corps est une véritable sphère par sa structure intérieure, comme il l'est par sa forme extérieure.

C'est dans la troisième année que le mérithalle fondamental tubéreux du Tamme commence à perdre sa forme sphérique et à prendre la forme d'un ellipsoïde, comme on le voit dans la figure 10 (planche 10). Il était important d'observer le mécanisme intérieur de cet allongement: pour cet effet j'ai divisé verticalement et dans son milieu, ce corps tubéreux ellipsoïde; sa coupe verticale est représentée par la figure 3 (planche 11). Cette coupe verticale ellipsoïde offre, comme la coupe verticale circulaire (figure 1), l'écorce, la moelle centrale, et les rayons du système central; ceux-ci, à l'extrémité inférieure qui représente un segment de sphère, ont conservé leur disposition sphérico-concentrique : mais, sur les côtés, ces rayons sont devenus horizontaux; ils sont disposés concentriquement sur l'axe vertical d'un cylindre; la moelle a cessé d'être sphérique, elle est devenue cylindrique en s'allongeant par le bas. Ainsi l'allongement de ce corps tubéreux souterrain consiste essentiellement en ce que la sphère qu'il représentait primitivement

s'est allongée dans le sens vertical, de manière à devenir un ellipsoïde. C'est exclusivement par l'extrémité inférieure que cet allongement s'est opéré. Cela est suffisamment prouvé par la mollesse du tissu de cette extrémité et par sa blancheur extérieure, signes qui indiquent d'une manière non douteuse que son développement est récent. L'élongation descendante de cette extrémité inférieure s'opère par l'allongement des rayons verticaux qui y existent, en sorte que le mécanisme de cette élongation descendante est exactement le même que celui de l'accroissement horizontal, en diamètre, de ce mérithalle fondamental tubéreux; mais il y a une grande différence dans l'étendue de l'accroissement dans ces deux sens. La cause de cette différence est facile à saisir. Le mérithalle fondamental tubéreux du Tamme est une sphère dans le principe; cette sphère s'accroîtrait également dans tous les sens si elle recevait partout une égale quantité de séve alimentaire. Comme la marche de cette séve est généralement descendante, il en résulte qu'elle doit s'accumuler, comme dans un sac, à la partie inférieure *a* (figure 1) de ce corps sphérique : cette partie inférieure sera, par conséquent, beaucoup plus nourrie que les parties latérales de la sphère, elle devra donc s'accroître beaucoup plus. Quant à la partie supérieure de la sphère, partie qui donne naissance à la tige, elle ne s'accroît que très-faiblement en hauteur, parce que la séve descendante n'y peut séjourner. Ainsi l'élongation considérable de la partie inférieure de la sphère primordiale est le résultat d'un très-énergique accroissement suivant les rayons verticaux qui vont du centre à cette partie inférieure; l'accroissement beaucoup plus faible qui a lieu suivant les rayons qui vont du centre aux parties latérales de la sphère primordiale, produit l'augmentation de grosseur du mérithalle fondamental tubéreux. On voit facilement, de cette manière, comment la sphère primordiale devient un cylindre terminé inférieurement par un segment de sphère.

Ce n'est pas seulement par l'allongement des rayons verticaux de l'extrémité inférieure du corps tubéreux ellipsoïde (figure 3, planche 11), que s'opère l'élongation descendante de cette extrémité inférieure; il y a aussi dans cet endroit production successive de nouveaux rayons verticaux. Ceux-ci naissent dans le milieu du segment de sphère qui termine inférieurement le mérithalle fondamental allongé; ils s'intercalent aux anciens rayons verticaux. En même temps, et par suite de cette intercalation, les rayons précédemment verticaux deviennent obliques, et ceux qui étaient précédemment obliques deviennent horizontaux comme le sont tous ceux du corps cylindrique du mérithalle fondamental tubéreux. Il résulte de là que tous les rayons, soit horizontaux, soit obliques, soit verticaux, ont à peu près la même longueur, et que la moelle qui occupe le centre du mérithalle fondamental et tubéreux cylindrique descend aussi en s'accroissant vers le bas. En même temps que le système central du mérithalle fondamental tubéreux s'accroît en descendant à l'extrémité inférieure de ce corps, le système cortical de cette même extrémité s'accroît par production de nouvelles cellules dans l'endroit où le système cortical touche au système central. Il résulte de cette production de nouvelles cellules par les deux systèmes un gonflement du tissu organique, gonflement qui déchire et perce de vive force l'ancienne écorce, dont l'épiderme était devenu noir pendant le repos d'hibernation. La partie nouvelle qui se produit ainsi au dehors est blanche, et pourvue de la molle organisation propre aux parties végétales récemment produites; sa masse blanchâtre hémisphérique ressemble alors assez à une grosse spongiole des racine. Cette observation dévoilerait-elle, par analogie, le mode d'élongation des racines véritables? On sait que les racines ne s'allongent que par leur extrémité. J'ai vu que leurs spongioles nouvelles émergent au printemps, en rompant l'écorce hibernale qui recouvrait la pointe de la radicelle ancienne. Il paraît donc exister, sous plusieurs points de vue, de la similitude entre les véritables

racines et les prolongements descendants du mérithalle fondamental tubéreux du Tamme. Ces derniers sont véritablement des extensions descendantes de l'accroissement de ce corps tubéreux en diamètre; je les compare à ces déviations descendantes de l'accroissement en diamètre; déviations qui, ainsi que je l'ai fait voir [1], pénètrent quelquefois dans l'intérieur des arbres dont le centre a été détruit par la pourriture. J'ai fait voir que ces végétations descendantes sont des déviations de l'accroissement horizontal de l'arbre en diamètre, et qu'elles ressemblent, jusqu'à un certain point, à des racines, sans qu'on puisse cependant les considérer comme telles. Il en est de même des prolongements descendants du mérithalle fondamental tubéreux du Tamme. Ce ne sont point des racines; mais ils offrent certains points de similitude avec ces organes, dont ils diffèrent essentiellement par leur grosseur et par leur structure anatomique. Les véritables racines, qui sont toujours assez grêles, bien qu'elles grossissent un peu en vieillissant, ont une structure ligneuse qui les différencie essentiellement du corps tubéreux duquel elles prennent naissance; elles envoient dans le système central de ce dernier des prolongements (figure 2, planche 11) flexueux et ramifiés qui offrent comme elles dans leur structure une grande quantité de vaisseaux longitudinaux. Rien de semblable n'existe dans les gros prolongements descendants, par le moyen desquels le mérithalle fondamental tubéreux du Tamme s'allonge inférieurement. Ainsi il demeure bien prouvé que ces gros prolongements descendants ne sont point des racines; toutefois, on ne peut guère douter qu'ils ne remplissent la même fonction, celle d'absorber les sucs nutritifs contenus dans le sol.

Lorsque le mérithalle fondamental tubéreux du Tamme est âgé de quelques années, on trouve une très-grande quantité de raphides, tant dans son système central que dans son système cortical. Ces raphides sont rassemblées en petits fagots, lesquels sont contenus chacun dans l'intérieur d'une cellule. Le nombre de ces petits fagots de raphides augmente avec l'âge du mérithalle fondamental tubéreux. Ces raphides elles-mêmes augmentent progressivement en longueur et en grosseur. J'ai vu qu'en général ces fagots de raphides sont dirigés selon le sens horizontal dans le système central, et selon le sens vertical dans la système cortical.

On voit par ces observations que le mérithalle fondamental tubéreux du Tamme s'accroît en diamètre comme un végétal dicotylédon. Son système central s'accroît par une progression centrifuge, et son système cortical par une progression centripète. Comme cet accroissement est suspendu pendant l'hiver, et qu'il se continue pendant un grand nombre d'années, il semblerait que l'on devrait trouver ici des couches concentriques distinctes, ainsi que cela a lieu chez les arbres dicotylédons. Or, il n'en est rien, et voici pourquoi: le mérithalle fondamental tubéreux du Tamme n'est presque composé que de rayons transversaux ou horizontaux, qui sont les analogues des rayons médullaires des dicotylédons. Ce n'est que lorsqu'il est vieux qu'il offre des réseaux de fibres longitudinales ou verticales: il n'y existe point de gros tubes longitudinaux. Or, si l'on se reporte à l'accroissement en diamètre des dicotylédons, on voit que la séparation des couches concentriques n'a lieu que pour les fibres longitudinales; les rayons médullaires traversent sans aucune interruption les couches successives. On voit ainsi pourquoi le mérithalle fondamental tubéreux du Tamme n'offre point de couches distinctes les unes des autres; cela provient de ce qu'il est presque exclusivement composé de rayons médullaires. La tige aérienne du Tamme offre la structure générale des monocotylédons, et cependant on y remarque une analogie très-marquée avec la structure des dicotylédons. La figure 4 (planche 11) représente la coupe transversale

[1] Voyez plus haut, page 117 et la planche 6.

de la tige de cette plante, tige annuelle déjà âgée de plusieurs mois. Cette tige possède une véritable écorce ; au centre il existe une véritable moelle, dont les cellules sont décroissantes de grandeur de dedans en dehors ; autour de la moelle existe un corps ligneux qui l'enveloppe complétement. Ce corps ligneux offre de gros faisceaux de fibres *C, C, C,* qui se prolongent en pointe vers le centre de la tige, et qui contiennent de larges canaux tubuleux remplis d'air. Lorsque la tige était plus jeune, les faisceaux *C, C, C,* étaient séparés les uns des autres par des prolongements de la moelle ; en sorte que cette dernière n'était point enveloppée par un étui ligneux complet. Par le progrès du développement il s'est formé subséquemment de petits faisceaux ligneux *D, D,* intermédiaires aux gros faisceaux ligneux *C, C, C;* lesquels ont complété l'étui ligneux qui enveloppe la moelle. Lorsque les gros faisceaux ligneux *C, C, C,* existaient seuls et isolés dans le tissu médullaire qui les environnait, la tige avait les caractères propres à la tige des monocotylédons ; mais lorsque les petits faisceaux ligneux *D, D,* se sont intercalés aux gros faisceaux ligneux *C, C, C,* et ont ainsi complété l'étui ligneux qui enveloppe la moelle, la tige a revêtu en partie les caractères de la tige des dicotylédons, dont elle diffère cependant par ses larges canaux tubuleux dont les parois sont composées de petites cellules, canaux tubuleux qui paraissent exclusivement propres aux monocotylédons. Ces faits et ceux qui ont été notés plus haut dans l'étude de cette plante, prouvent qu'elle est véritablement un être intermédiaire aux deux grandes classes des monocotylédons et des dicotylédons. Cela prouve qu'ici, comme partout ailleurs, la nature n'a point établi de divisions tranchées.

M. de Mirbel, dans une lettre adressée au Journal intitulé *le Cultivateur* (cahier de mai 1834), dit avoir observé que dans les bourgeons des arbres dicotylédons tout le bois est représenté par une seule série de filets unis en réseau. *Les filets*, dit-il, *ne diffèrent en rien de ceux des monocotylédons; leur coupe transversale offre le plus souvent un ovale plus ou moins régulier, dont le petit bout regarde la moelle, et le gros bout l'écorce.* J'ai noté cette disposition des faisceaux de filets ligneux chez les tiges naissantes des dicotylédons, dans mes *Recherches sur l'accroissement des végétaux*. J'ai fait voir, par exemple, que chez le *clematis vitalba* (planche 2, fig. 7), les tiges naissantes offrent d'abord seulement six faisceaux de filets ligneux, dont la coupe transversale présente l'image d'un ovale, lequel, très-arrondi du côté qui regarde l'écorce, s'appointit du côté qui regarde le centre de la tige. Entre ces six faisceaux primitifs naissent bientôt six autres petits faisceaux intermédiaires aux faisceaux primitifs, et qui complètent l'étui ligneux par lequel la moelle se trouve tout à fait enveloppée. Cette formation successive des faisceaux ligneux est, comme on le voit, tout à fait semblable à celle qui a lieu dans la tige du Tamme. M. de Mirbel, dans l'écrit que je viens de citer, fait remarquer que le tissu cellulaire, qui, dans le bourgeon des dicotylédons, sépare les uns des autres les faisceaux de filets ligneux, et qui doit donner naissance aux rayons médullaires, représente le tissu cellulaire lâche interposé aux faisceaux de filets ligneux des stipes des monocotylédons; *de sorte*, ajoute-t-il, *qu'on peut dire qu'à cette époque il n'y a aucune différence essentielle entre l'organisation des tiges des deux classes.* Je suis, à cet égard, complétement de l'avis de M. de Mirbel. Tous les végétaux phanérogames ont la même organisation générale, lorsqu'ils sont à cette époque peu avancée de leur vie où ils existent avec l'organisation propre au bourgeon. Cette époque de la vie végétale est de si courte durée chez les dicotylédons, qu'elle est à peine appréciable ; ils passent très-rapidement à un état plus avancé de la vie et de l'organisation végétales. Chez les monocotylédons, au contraire, l'état de bourgeon, ou l'organisation gemmaire, est un état permanent et stationnaire. Cette organisation gemmaire offre principalement les caractères suivants : les fibres ligneuses sont disposées

en réseaux anastomosés fort lâches, dans les interstices desquels le tissu cellulaire médullaire pénètre en masses assez considérables; en sorte que, dans la coupe transversale de la tige, on voit des faisceaux ligneux isolés enveloppés de toutes parts par un tissu cellulaire. Les nouvelles fibres ligneuses qui pénètrent et qui se subdivisent dans les nouvelles feuilles, naissent toujours au centre du bourgeon, c'est-à-dire plus centralement que les fibres qui se distribuent aux feuilles dont l'évolution est antérieure. J'ai, le premier, annoncé ce fait pour les dicotylédons, en 1820 [1] : M. de Mirbel confirme ce fait dans son écrit sus-mentionné. Ainsi il est certain que les dicotylédons, dans leur état transitoire d'organisation gemmaire, et que les monocotylédons, chez lesquels l'organisation gemmaire est l'état permanent, sont également *endogènes*, leurs nouvelles fibres ligneuses prennent naissance en dedans des faisceaux de fibres ligneuses plus anciennes. A peine l'évolution rapide, laquelle succède à l'évolution lente qui a lieu tant que se conserve l'état de bourgeon, est-elle commencée chez les dicotylédons, qu'il se produit de nouvelles fibres ligneuses en dehors des faisceaux de fibres ligneuses plus anciennes, et qu'il se produit simultanément de nouvelles fibres corticales en dedans des faisceaux de fibres corticales plus anciennes. Ce nouveau phénomène est généralement étranger aux monocotylédons, qui, comme je viens de le dire, conservent constamment l'organisation gemmaire, laquelle n'est que transitoire chez les dicotylédons.

La théorie que je viens d'exposer place les monocotylédons au-dessous des dicotylédons dans les degrés de la perfection organique. Les monocotylédons offrent véritablement un arrêt de formation, ils se sont arrêtés à l'organisation gemmaire, qui n'est que transitoire chez les dicotylédons, lesquels ont atteint un degré plus élevé de l'organisation végétale. On sait qu'une théorie analogue est déjà née de l'observation par rapport aux animaux, dont les classes inférieures offrent la persistance de différents degrés inférieurs de l'organisation animale, degrés inférieurs qui ne sont que transitoires pour la classe la plus élevée. Ainsi, toute la masse des êtres organisés offre une marche progressive vers la perfection organique. Ceux de ces êtres qui possèdent au plus haut degré cette perfection d'organisation ont nécessairement passé, pour y parvenir, par tous les degrés inférieurs auxquels se sont arrêtés les êtres dont la perfection organique est moins avancée. On vient de voir que le végétal, dans son état primitif d'*embryon*, possède la constitution d'une sphère en dedans comme en dehors. On ne connaît point de végétaux phanérogames qui se soient arrêtés à cet état primitif, c'est-à-dire qui aient la constitution d'une sphère dans leur état normal. On va voir, dans la seconde partie de ce Mémoire, que ce phénomène a lieu dans certains cas d'*arrêt de formation* des végétaux élevés dans l'échelle de l'organisation végétale.

DEUXIÈME PARTIE.

OBSERVATIONS SUR LA FORME PRIMITIVE DES EMBRYONS GEMMAIRES DES ARBRES DICOTYLÉDONS.

Dans la première partie de ce mémoire, j'ai fait voir que le mérithalle fondamental embryonnaire du *tamus communis* possède, tant intérieurement qu'extérieurement, la constitution d'une sphère, et que ce mérithalle fondamental globuleux est véritablement le second mérithalle de la plante, duquel les autres mérithalles naîtront subséquemment. Ces derniers existent-ils aussi à l'état embryonnaire avant leur évolution? l'observation directe n'apprend rien à cet égard. L'origine première des mérithalles qui naissent successivement dans une branche qui se développe, se cache dans l'infiniment petit; rien ne prouvait qu'ils eussent des *germes* ou des *embryons* particuliers avant les observations que j'ai faites sur les déplacements

[1] Mémoires du Muséum d'histoire naturelle, t. VIII, p. 36.

auxquels ils sont sujets avant l'évolution que les fixe d'une manière définitive [1]. Ces déplacements prouvent, en effet, que les mérithalles sont primitivement libres d'adhérence avec le végétal qui les produit, et qu'ils ont alors, par conséquent, une existence à part. La continuité organique que l'on observe plus tard entre eux, est donc le résultat d'une véritable greffe. Par cette observation indirecte, on acquiert la certitude que tous les mérithalles dont se compose une plante, ont, comme le mérithalle fondamental de cette plante, un état embryonnaire, et par conséquent une forme embryonnaire. Il n'existe rien, dans la science, qui puisse nous donner la plus légère idée sur cet état embryonnaire des mérithalles produits par gemmation. On les considère ordinairement comme des extensions du tissu des mérithalles qui les précèdent; on va voir cette théorie s'évanouir devant l'observation des faits.

Tout le monde connaît ces protubérances qui surviennent assez souvent sur le tronc des arbres, protubérances qui portent vulgairement le nom de *loupes*, et auxquelles Duhamel a fort mal à propos donné le nom d'*exostoses* [2]. Ces protubérances offrent souvent des différences essentielles dans leur structure intérieure. Ainsi, par exemple, les loupes que l'on nomme *broussins* et qui produisent sur toute leur surface un nombre prodigieux de petites branches dont l'évolution est imparfaite, diffèrent essentiellement des loupes dont la surface arrondie ne produit pas un seul bourgeon. Parmi ces dernières il en est de très-remarquables en cela que, dans le principe, elles consistent en des *nodules ligneux* isolés dans l'intérieur de l'écorce, et parfaitement exempts de rapports immédiats avec le corps ligneux de l'arbre auquel ils deviennent adhérents plus tard. Ces nodules ligneux se rencontrent très-fréquemment dans l'écorce du hêtre (*fagus sylvatica*). J'en ai trouvé de très-gros et en grande quantité sur deux cèdres du Liban. J'ai pu suivre, sur ces deux arbres, l'origine et le développement de ces *nodules ligneux*. On les trouve d'abord fort petits et globuleux dans le tissu de l'écorce et vers sa partie superficielle, j'en ai trouvé qui n'étaient pas plus gros que des têtes d'épingle. Il me paraît qu'ils naissent dans la partie parenchymateuse de l'écorce, partie que j'ai désignée par le nom de *médulle corticale*. Ces nodules ligneux sont toujours primitivement libres et complétement isolés dans l'épaisseur de l'écorce de l'arbre; ils y possèdent une écorce particulière confondue, par adhérence, avec l'écorce de l'arbre qui les enveloppe de toutes parts, mais qui, chez le cèdre, est facile à distinguer par la direction de ses fibres, direction très-différente de celle des fibres de l'écorce de l'arbre. La figure 1, pl. 12, représente un nodule ligneux arrondi du cèdre, recouvert en dehors par l'écorce de l'arbre : il est dénudé du côté qui regardait le bois de l'arbre, et l'on voit en *a* les lambeaux relevés de son écorce particulière. La forme de ces nodules ligneux varie : tantôt ils sont irrégulièrement arrondis, comme on le voit dans la fig. 2; tantôt ils offrent un prolongement conique, lequel est dirigé horizontalement vers le bois de l'arbre auquel ce prolongement touche par sa pointe qui est très-aiguë (fig. 3); tantôt ils sont allongés transversalement dans le sens horizontal et à angle droit avec la direction de celui qui est représenté par la figure 3. Cette troisième forme est représentée par la figure 4. On comprendra plus facilement la disposition de ce dernier nodule ligneux, en se figurant que lorsqu'on le regarde fixé dans la place qu'il occupe sur le tronc de l'arbre, l'un de ses prolongements latéraux est situé à droite de l'observateur, et l'autre à sa gauche. Les nodules ligneux de cette troisième forme sont très-communs chez les hêtres : j'en ai observé quelques-uns chez le cèdre du Liban. Une quatrième

[1] Voyez ci-dessus mon mémoire intitulé : *Observations sur les variations accidentelles du mode suivant lequel les feuilles sont disposées sur les tiges des végétaux*.

[2] Physique des arbres, liv. 5, chap. 3.

forme des nodules ligneux est celle qui est représentée par la figure 5. Ici le nodule ligneux possède plusieurs prolongements coniques semblables chacun à l'unique prolongement que possède le nodule ligneux représenté par la figure 3. Je n'ai observé ces prolongements coniques que chez les nodules ligneux du cèdre du Liban, dont l'écorce est assez épaisse pour permettre l'existence et le développement de ces prolongements coniques, toujours dirigés horizontalement vers le bois de l'arbre auquel ils touchent par leur pointe. Il n'y a jamais aucune trace de ces prolongements coniques chez les nodules ligneux du hêtre; la portion d'écorce de cet arbre qui est interposée à son bois et au nodule ligneux est très-mince et ne permettrait pas l'existence de ces prolongements coniques, lesquels, d'ailleurs, ne naissent jamais sur ces nodules ligneux du hêtre; ces derniers sont constamment arrondis du côté qui regarde le bois de l'arbre. Lorsque, par le progrès de leur développement, les nodules ligneux nés dans l'épaisseur de l'écorce de l'arbre sont parvenus à mettre leur bois en contact avec le bois de l'arbre qui les porte, l'écorce intermédiaire disparait; elle est détruite par la pression qu'elle éprouve, et alors le bois du nodule ligneux devient adhérent au bois de l'arbre. Quelquefois ce phénomène d'adhérence ne s'accomplit qu'après bien des années, en sorte que le nodule ligneux, toujours séparé du bois de l'arbre par une écorce intermédiaire, acquiert une grosseur que j'ai vue égaler quelquefois celle d'un œuf de poule. Très-souvent il arrive, surtout chez les nodules ligneux du hêtre, de rencontrer une petite branche qui est née sur le milieu de la bosse arrondie qu'ils forment. Je reviendrai plus bas sur ce fait. Je passe à l'examen de la structure intérieure de ces nodules ligneux. Je commence par le nodule ligneux arrondi : ses fibres ligneuses décrivent des cercles irrégulièrement concentriques autour de plusieurs points de sa surface, comme on le voit dans la figure 2. Les fibres de l'écorce particulière de ce nodule ligneux qui appartient au cèdre, ont la même direction. La figure 6 représente la coupe verticale d'un nodule ligneux de hêtre. Cette coupe est celle qui diviserait en même temps, par une section verticale et médiane, le tronc de l'arbre dans l'écorce duquel ce nodule ligneux s'est développé; on voit qu'il est composé de couches ligneuses concentriques, et que des rayons médullaires s'étendent du centre à la circonférence.

La figure 7 représente la coupe horizontale de ce même nodule ligneux; on y voit, comme dans la figure précédente, la concentricité des couches ligneuses et celle des rayons médullaires. En un mot, dans quelque sens que l'on fende par la moitié le nodule ligneux, toujours on aperçoit sur la coupe des couches concentriques et des rayons médullaires qui s'étendent du centre à la circonférence. Ainsi, par sa structure intérieure, le nodule ligneux est une véritable sphère qui est devenue plus ou moins irrégulière; elle atteste par la disposition sphérico-concentrique de toutes ses parties composantes que, dans le principe, elle était une sphère parfaite. Ce nodule ligneux sphéroïdal offre tous les éléments qui entrent dans la composition de la tige de l'arbre auquel il appartient; mais ces éléments y sont autrement disposés. Dans la tige de l'arbre les couches ligneuses sont disposées concentriquement autour d'un axe central, c'est un cylindre; dans le nodule ligneux, les couches sont disposées concentriquement autour d'un point central, c'est un sphéroïde. Dans la tige, les rayons médullaires vont en rayonnant de l'axe du cylindre vers ses parois; et les fibres ligneuses sont parallèles à l'axe de ce cylindre; dans le nodule ligneux, les rayons médullaires rayonnent dans tous les sens du centre vers la périphérie de ce sphéroïde, et les fibres ligneuses sont courbées en cercles irréguliers autour de divers points. La principale cause de l'irrégularité du sphéroïde que représente le nodule ligneux, est l'inégalité du développement de chacune de ses couches ligneuses dans les divers points de sa périphérie. Ainsi il arrive

presque toujours que les couches sont plus épaisses du côté qui correspond au bois de l'arbre, que du côté opposé qui regarde l'extérieur, ainsi que cela se voit dans la fig. 8, qui représente la coupe verticale d'un nodule ligneux du hêtre; le côté *a* de ce nodule ligneux regardait le bois de l'arbre dont il était séparé par une mince couche d'écorce. On voit que les couches du nodule ligneux sont beaucoup plus épaisses de ce côté que du côté opposé. Cet excès de développement des couches ligneuses qui regardent le bois de l'arbre provient évidemment de ce que le nodule ligneux est plus nourri, ou reçoit plus de sève nutritive d'un côté que de l'autre. Cette sève nutritive est le *cambium* qui, comme on sait, afflue en abondance dans le lieu de jonction des deux systèmes cortical et central de l'arbre. Situé en dehors de ce lieu de jonction et dans l'épaisseur de l'écorce, le nodule ligneux doit donc être plus nourri, et par conséquent plus développé par celui de ses côtés qui regarde le bois de l'arbre. Ce nodule ligneux est lui-même lubréfié par le *cambium*; il est *en sève* en même temps que l'arbre dans l'écorce duquel il se trouve, et il se détache avec facilité de l'écorce propre qui l'enveloppe. C'est, à ce qu'il paraît, cet excès de nutrition du nodule ligneux dans son côté tourné vers le bois de l'arbre, qui détermine la formation des prolongements coniques que l'on observe chez beaucoup de nodules ligneux du cèdre du Liban (fig. 3 et 5). Il me reste à étudier la structure intérieure de ces prolongements coniques.

La figure 9 représente la coupe verticale de l'un de ces nodules ligneux pourvu d'un long prolongement conique. Les couches superposées dont se compose ce nodule ligneux s'allongent en cônes aigus vers le bois de l'arbre. Le cône de la couche ligneuse la plus extérieure touche seul et par sa pointe aiguë au bois de l'arbre. Le sommet aigu des cônes que forment les couches ligneuses intérieures touchait certainement aussi le bois de l'arbre, lorsque chacune de ces couches actuellement intérieure était extérieure; chacune d'elles a été éloignée du bois de l'arbre par la formation de la couche qui la recouvre, formation qui a éloigné du bois de l'arbre la couche plus ancienne. Il y a certainement ici adhérence de la pointe du cône ligneux avec le bois de l'arbre; car lorsqu'on arrache ce cône ligneux, on remarque une solution de continuité à sa pointe, qui offre alors l'entrée d'une cavité située dans l'intérieur de la pointe conique. Cette adhérence au reste est bien faible, puisqu'elle est détruite avec tant de facilité par l'interposition d'une couche nouvelle. Lorsqu'il y a plusieurs prolongements coniques au même nodule ligneux, comme on le voit dans la figure 5, chacun de ces prolongements est composé de couches coniques qui se recouvrent, comme l'est le prolongement conique unique que possède le nodule ligneux dont la coupe est représentée par la figure 9. J'ai observé que ces prolongements coniques naissent dans les endroits où les fibres ligneuses sont disposées en cercles irréguliers concentriques, comme on le voit dans la figure 2. C'est le point central commun de ces cercles concentriques qui donne naissance à la pointe du prolongement conique; aussi les fibres ligneuses ne sont-elles point parallèles à la direction de ce prolongement conique, elles tournent obliquement autour de lui. Ce fait suffirait pour prouver que ces prolongements coniques ne sont point des racines, comme on pourrait peut-être le penser, s'il n'était démontré par l'inspection de la structure intérieure de ces prolongements, qu'ils sont dus à une déviation de l'accroissement du nodule ligneux en diamètre, de la même manière que cela a lieu pour les prolongements descendants qui s'observent dans le mérithalle fondamental tubéreux du *tamus communis*, ainsi que je l'ai fait voir dans la première partie de ce travail.

Je viens de dire que chaque prolongement conique du nodule ligneux offre une petite cavité dans son intérieur. Cette cavité est remplie par un tissu cellulaire médullaire, de couleur rousse. Or, comme

les sommets de tous les cônes emboîtés sont ouverts, il en résulte qu'il existe un canal non interrompu depuis la pointe *b* du cône le plus extérieur (fig. 9 et 11) jusqu'au centre *c* du nodule ligneux. Ce canal est entièrement rempli de moelle, comme on le voit dans les figures citées. L'origine de cette moelle est facile à déterminer. J'ai fait voir dans mes *Recherches sur l'accroissement des végétaux* [1] que les couches ligneuses sont séparées les unes des autres par une couche très-souvent inapercevable de moelle ou de médulle centrale. Or, la cavité tubuleuse qui existe dans l'intérieur de chaque prolongement conique n'est autre chose que l'interstice allongé des couches contiguës; il doit donc nécessairement être rempli de tissu cellulaire médullaire : dans les intervalles des couches, ce tissu médullaire est si mince qu'il est inapercevable; il est assez développé dans la cavité des prolongements coniques, voilà toute la différence. Le nodule ligneux, ainsi composé de cônes emboîtés, lesquels offrent dans leur partie centrale un axe médullaire, peut être considéré comme une *tige rétrograde*, c'est-à-dire comme une tige qui, au lieu de s'être accrue en longueur par production de mérithalles successifs dans la direction *c, a* (fig. 9), s'est accrue en longueur par production de cônes emboîtés successifs dans le sens *c, b*. J'ai mis hors de doute le mécanisme de cet accroissement rétrograde par l'expérience suivante : au printemps, lorsque le cèdre qui portait des nodules ligneux était *en sève*, je pratiquai une décortication annulaire sur un de ces nodules ligneux; cette décortication fut faite dans le sens *a, a* (fig. 12), la calotte d'écorce *b* mourut et se dessécha; la partie du nodule ligneux qui était recouverte par cette calotte d'écorce mourut également; il ne resta de vie que dans la partie *c* du nodule ligneux qui se trouvait en deçà de la décortication annulaire. Cette partie, demeurée vivante, s'accrut en grosseur par production d'une couche nouvelle pendant la période de végétation de l'année où l'expérience fut faite. On voit cette nouvelle couche en *d, d* dans la figure 13, qui représente la coupe verticale de ce nodule ligneux soumis à l'expérience. On voit que la couche ligneuse, produite pendant la période de végétation de l'année, ne s'étend que jusqu'à la décortication annulaire, et que, pourvue comme les autres d'un prolongement conique, elle s'est intercalée à la couche de l'année précédente et au bois de l'arbre. Ceci confirme pleinement ce qui a été dit plus haut touchant la formation successive des couches pourvues de prolongements coniques, prolongements dont les sommets pointus, très-légèrement adhérents au bois de l'arbre, en sont arrachés par la formation intercalaire de la couche subséquente également pourvue d'un prolongement conique, lequel devient à son tour adhérent au bois de l'arbre par son sommet. Lorsque le nodule ligneux est devenu complétement adhérent au bois de l'arbre, et que cette adhérence est arrivée lorsque le nodule ligneux était déjà d'une certaine grosseur, ce dernier se trouve former une protubérance arrondie sur le bois de l'arbre dont il fait alors partie. C'est ce que l'on nomme vulgairement *une loupe*. Je reviendrai plus bas sur ce sujet. Lorsque le nodule ligneux encore très-jeune devient adhérent au bois de l'arbre, il ne manque jamais de produire une petite branche, ce qui n'arrive jamais aux vieux nodules ligneux. L'adhérence des jeunes nodules ligneux au bois de l'arbre n'est pas très-commune chez le cèdre du Liban; elle est très-fréquente chez le hêtre; aussi voit-on très-souvent les petits nodules ligneux de ce dernier arbre émettre une petite branche, comme on le voit dans la fig. 10, pl. 12, qui représente en même temps la coupe verticale de ce nodule ligneux. On voit, par le nombre des couches concentriques de ce nodule ligneux, qu'il est âgé d'environ dix ans. La branche à laquelle il a donné naissance doit avoir à peu près le même âge, et cependant elle

[1] Voyez plus haut, page 83.

est fort petite ; elle ne possède que très-peu de force de développement. Aussi arrive-t-il presque toujours que cette petite branche meurt ; ce qui n'empêche pas le nodule ligneux qui lui a donné naissance de vivre et de continuer à se développer en grosseur.

J'ai vu, chez le cèdre du Liban, un de ces nodules ligneux qui avait donné naissance à une petite branche, quoiqu'il n'eût avec le bois du tronc de l'arbre qu'une adhérence très-faible et temporaire par la pointe de son prolongement conique, comme on le voit dans la figure 11. Dans ce nodule ligneux, comme dans celui qui est représenté par la figure 10, le prolongement conique de chacune des couches concentriques a été adhérent au bois de l'arbre dans l'année de la formation de la couche à laquelle il appartient, et cette adhérence a été rompue l'année suivante lors de la formation de la couche suivante, qui à son tour est devenue adhérente au bois de l'arbre par l'extrémité pointue de son prolongement conique. Ainsi il n'y a que la couche la plus extérieure qui adhère par sa pointe conique au bois de l'arbre. Or cette faible adhérence a suffi, dans le cas dont il s'agit, pour favoriser le développement de la petite branche qui est née au sommet de ce nodule ligneux. On remarque ici que les couches ligneuses concentriques sont tellement minces au sommet *a* de ce nodule ligneux, qu'elles disparaissent à la vue ; elles manquent nécessairement là où la petite branche est implantée ; elles se continuent peut-être d'une manière invisible sur cette petite branche. On voit cette dernière se prolonger jusqu'au centre *c* du nodule ligneux ; en sorte qu'il est évident qu'elle naît du très-petit globe qui occupe cette partie centrale. Ce petit globe est évidemment l'*embryon gemmaire* ou le *germe primitif*, duquel la branche adventive est née ; cet *embryon gemmaire adventif* naît isolé dans l'écorce ; si son adhérence au bois de l'arbre s'opère de bonne heure, il développe une branche, comme on le voit dans les figures 10 et 11. Si son adhérence au bois de l'arbre ne s'opère point, ou ne s'opère que longtemps après sa naissance, il ne développe point de branche, et cela parce que la production des couches ligneuses concentriques a recouvert et emprisonné tout à fait le petit globe central ou l'embryon gemmaire qui peut seul développer une branche (fig. 7 et 8). Les nodules ligneux qui ont produit une petite branche ressemblent à la partie renflée et tubéreuse d'un radis, partie qui est le premier mérithalle de la plante. Ils ressemblent d'une manière encore plus frappante au corps tubéreux et radiciforme du *tamus communis*, corps qui est véritablement le mérithalle fondamental de cette plante, lequel est devenu tubéreux et souterrain, ainsi que je l'ai démontré dans la première partie de ce Mémoire. J'ai fait voir, en effet, que ce mérithalle fondamental du Tamme est sphérique dans le principe, tant par sa forme extérieure que par sa structure intérieure. Il en est de même des nodules ligneux. Le mérithalle fondamental du Tamme s'accroît en grosseur par de nouvelles productions concentriques, lesquelles sont plus développées dans sa partie diamétralement opposée à l'endroit qui donne naissance à la tige ; en sorte qu'il se produit des prolongements descendants radiciformes. Il en est de même chez les nodules ligneux du cèdre, excepté que leurs prolongements radiciformes, au lieu d'être verticalement descendants, affectent une progression horizontale. Ces prolongements radiciformes sont au reste, dans l'un et dans l'autre cas, dus à des déviations de l'accroissement normal en diamètre. Cette similitude exacte qui existe sous les points de vue les plus généraux entre le *mérithalle fondamental* du Tamme et le *nodule ligneux*, né et développé dans l'épaisseur de l'écorce de certains arbres, prouve que ce *nodule ligneux* est véritablement aussi un mérithalle fondamental développé en grosseur sans avoir perdu sa forme sphérique primitive. C'est véritablement un *embryon gemmaire adventif*, qui, né dans l'écorce, a éprouvé un *arrêt de formation*. Il n'est point passé de la forme primitive d'em-

bryon sphérique à la forme secondaire de mérithalle cylindrique. Ce n'est point, comme on pourrait peut-être le penser, un *bourgeon avorté*, car sa constitution de sphère prouve qu'il n'en est rien. Un bourgeon en effet est une tige en miniature, dans laquelle plusieurs mérithalles successifs sont déjà apparents, et qui possède des feuilles rudimentaires. Il n'y a rien chez cette tige naissante qui ressemble à la structure d'une sphère. Or cette structure est partout celle de l'embryon végétal. Ainsi, de même que nous avons vu le mérithalle fondamental embryonnaire du *tamus communis* être une sphère tant extérieurement qu'intérieurement, ainsi nous voyons l'*embryon gemmaire* posséder, tant en dedans qu'en dehors, la constitution d'une sphère : nous voyons le mérithalle fondamental embryonnaire du tamme acquérir des dimensions très-remarquables sans perdre sa constitution de sphère; le nodule ligneux offre le même phénomène. Dans l'un et dans l'autre cas, on doit donc reconnaître un mérithalle fondamental embryonnaire possédant la constitution d'une sphère. Ce mérithalle donne ou peut donner naissance à d'autres mérithalles qui naissent successivement les uns des autres. Nous ignorerions entièrement cette constitution de sphère qui existe dans le mérithalle embryonnaire *séminal*, comme dans le mérithalle embryonnaire *gemmaire*, si, dans les cas particuliers dont il est ici question, l'embryon végétal, que la nature a généralement fait d'une petitesse extrême, ne prenait un développement assez considérable et insolite en conservant sa constitution primordiale, ce qui permet d'observer sa structure intérieure. Ainsi le nodule ligneux sphéroïde et qui n'a point produit de tige (fig. 1 et 2, pl. 12) est un *embryon gemmaire*, c'est-à-dire un *mérithalle fondamental* qui s'est développé sous sa forme primitive et originelle, sans engendrer d'autres mérithalles. Plongé dans l'écorce de l'arbre qui le porte, le nodule ligneux complétement isolé du bois de l'arbre, et pourvu d'une écorce particulière, est, jusqu'à un certain point, un être à part, un être distinct de l'arbre, dans l'écorce duquel il vit comme un parasite. C'est un végétal ligneux sphérique privé de branches et de racines; il se nourrit avec la séve élaborée qui lui est exclusivement fournie par l'écorce de l'arbre dans laquelle il est enseveli. La séve aqueuse ascendante ne lui parvient point; car celle-ci ne se transmet que par le système central de l'arbre et seulement par son aubier. Or le nodule ligneux dont il est ici question est complétement isolé de l'aubier de l'arbre. Ne se nourrissant donc que par la séve élaborée qui lui est fournie par l'écorce de l'arbre, le nodule ligneux doit cesser de vivre dans celles de ses parties qui, par interruption de communication, ne peuvent plus recevoir cette séve. C'est ainsi qu'on a vu le nodule ligneux (fig. 12), sur lequel on a pratiqué une décortication annulaire, perdre la vie dans sa partie *a*, *b*, qui ne peut plus recevoir la séve nourricière qui lui était fournie auparavant par l'écorce de l'arbre. De ce que le nodule ligneux ne reçoit point de séve ascendante ou de *séve crue*, lorsqu'il est complétement isolé de l'aubier de l'arbre, il résulte que le cambium abondant qui lubrifie ce nodule ligneux au printemps, consiste entièrement en séve élaborée, fournie par l'écorce dans laquelle il est enseveli. Il suit de là que ce n'est point l'aubier qui verse entre les deux systèmes cortical et central la séve élaborée qui porte le nom de *cambium*, c'est l'écorce seule qui en est la source. C'est donc bien certainement dans cette dernière que marche la séve élaborée descendante, ainsi que presque tous les phytologistes l'ont admis. Cette assertion avait besoin de cette preuve nouvelle et décisive, pour prendre rang parmi les vérités démontrées.

L'observation de l'accroissement par couches successives des nodules ligneux complétement isolés de l'aubier de l'arbre, sert à établir définitivement une autre vérité encore contestée aujourd'hui; c'est que cet accroissement par couches est le résultat d'un travail organique lo-

cal, et non le résultat de la superposition de prétendues *racines des bourgeons* qui descendraient de l'extrémité des branches vers les racines ; ainsi que l'ont prétendu Lahire et Dupetit-Thouars.

Par ces observations se trouve définitivement établie cette vérité nouvelle que j'avais précédemment entrevue; savoir, que les mérithalles sont des êtres individuels engendrés par le végétal qui les porte, et dépourvus, dans le principe, de véritable continuité de tissu avec lui. La plupart du temps les mérithalles embryonnaires, ou *embryons gemmaires*, se greffent très-promptement sur le végétal qui les a engendrés, en sorte qu'il s'établit entre eux une continuité de tissu : mais il arrive quelquefois que cette greffe du mérithalle *nouveau-né* éprouve normalement certains retards qui permettent de voir la séparation qui existe entre le bois de ce premier mérithalle et le bois du mérithalle qui l'a engendré. Le peuplier de Virginie (*populus monilifera*, Michaux) en offre un exemple très-remarquable. Chez cet arbre on aperçoit souvent, avec beaucoup de facilité, que chaque bourgeon est issu d'un embryon gemmaire sphérique, lequel, quoique développé en mérithalle, laisse encore voir sa base arrondie, base qui n'a contracté qu'une adhérence fort imparfaite avec le bois de la branche qui a produit ce nouveau scion, né d'un bourgeon normal. Ce phénomène ne se manifeste que lorsque les bourgeons inférieurs d'un scion, demeurés stationnaires pendant la première année, se développent dans la seconde année ou dans l'une des années suivantes. Alors ces bourgeons sont séparés de la moelle de leur branche-mère, avec laquelle ils communiquaient dans le principe, par une couche plus ou moins épaisse d'aubier, avec laquelle ils n'ont point de continuité organique véritable; ils ne sont qu'appliqués sur cette couche d'aubier, à peu près comme le serait une greffe en écusson. Lorsque ces bourgeons stationnaires se développent, ils conservent, pendant un certain temps, leur défaut de continuité ligneuse avec l'aubier de la branche qui les porte et les nourrit. Aussi les nouveaux scions, nés de ces bourgeons stationnaires, se détachent-ils très-facilement, par leur base arrondie, du lieu de leur origine, et on voit qu'il n'y a point eu de rupture de fibres ligneuses dans cette circonstance. La fig. 14, pl. 12, représente la partie inférieure de l'un de ces deux scions observé dans la seconde année de son évolution : il n'était point encore continu par son bois avec la branche de laquelle il était issu; car on voit que sa base arrondie *a* s'en est détachée nettement, et cela au moyen d'une force assez légère. On voit que cette base du scion offre, d'une manière remarquable, des traces de la forme sphéroïdale qu'elle a dû posséder dans le principe. C'est une demi-sphère déprimée du côté de l'arbre ou du côté de la branche de laquelle est né le scion, et qui n'adhère encore qu'imparfaitement à l'arbre avec lequel elle aurait offert, dans la suite, une parfaite continuité de tissu. Ce phénomène de structure végétale est évidemment analogue à celui qui est représenté par la fig. 10; mais il est bien moins prononcé. La fig. 15 fait voir au moyen d'une coupe longitudinale, la séparation qui existe au point *a*, entre le bois du nouveau scion, âgé de quelques mois, et celui de la branche de laquelle il est issu. Les scions dont il est ici question sont nés de bourgeons *normaux*. Ainsi il demeure prouvé que les branches normales, comme les branches adventives, naissent également d'*embryons gemmaires* sphériques primitivement isolés dans le tissu du végétal générateur. Chez le peuplier de Virginie on voit que le mérithalle fondamental, qui constitue l'embryon gemmaire, est primitivement isolé de la branche de laquelle il est né, et qu'il s'y greffe subséquemment; mais les autres mérithalles du scion, auquel il donne naissance, n'offrent entre eux aucune trace de séparation qui puisse faire soupçonner qu'ils étaient, dans l'origine, isolés les uns des autres. Ce second fait est établi affirmativement par l'observation du gui (*viscum album*). Chez

ce végétal ligneux, on voit que chaque mérithalle est séparé de celui qui le précède et de celui qui le suit, par une couche de tissu cellulaire médullaire, laquelle s'oppose à la continuité du bois des mérithalles successifs; ces derniers ne sont continus que par leur écorce. Cette ligne de séparation des mérithalles ne s'efface jamais; elle existe même dans les branches les plus vieilles. Ce fait prouve incontestablement que le mérithalle supérieur n'est point une extension du tissu du mérithalle inférieur, mais qu'il s'est greffé sur lui après avoir été produit par génération gemmaire. Ce fait, ainsi que je l'ai dit plus haut, découlait déjà des observations que j'ai faites sur les déplacements auxquels sont sujettes les feuilles, lesquelles sont accompagnées, dans ces déplacements, par les mérithalles auxquels elles appartiennent. J'ai conclu de là que les embryons des mérithalles étaient primitivement isolés ou libres d'adhérence avec le végétal qui les avait engendrés; j'ai fait voir que ces *embryons gemmaires* se greffaient les uns sur les autres : tantôt le fils sur le père, tantôt le frère sur le frère; car ils sont toujours produits par couples. L'état d'isolement où se trouvent, dans l'origine, les embryons gemmaires ou les embryons des mérithalles et leur entre-greffement subséquent, rendent raison de la facilité avec laquelle on les sépare les uns des autres, par la fracture, chez certains végétaux, surtout dans la jeunesse des scions. Cela est surtout remarquable dans les jeunes scions de la vigne. Chez cet arbuste, la séparation des mérithalles a même lieu spontanément dans la maladie connue vulgairement sous le nom de *chantepleure*.

Le nodule ligneux, ainsi que cela vient d'être démontré, est un être individuel qui possède sa vie à part; sa force d'accroissement peut donc être différente de la force d'accroissement du tronc de l'arbre qui l'a produit et auquel il se sera soudé subséquemment, ce qui aura formé ce que l'on nomme vulgairement une *loupe*. Si la force d'accroissement de cette loupe est supérieure à la force d'accroissement du tronc, on verra la loupe s'accroître beaucoup plus que lui en grosseur; c'est ce dont l'observation fournit beaucoup d'exemples. Je me contenterai d'en citer un fort remarquable : il est relatif à un jeune hêtre sur le tronc duquel il s'est développé une loupe des plus volumineuses, relativement aux faibles dimensions du tronc de cet arbre. Cette loupe, qui est représentée par la fig. 3, pl. 13, possède onze pouces de diamètre, tandis que le tronc de l'arbre qui la porte n'a guère qu'un diamètre de deux pouces et demi : elle est à peu près sphérique, et le tronc de l'arbre semble la traverser dans son milieu. La figure 1 représente le côté de cette loupe qui est opposé à celui qui est représenté par la figure 3. On voit, dans son milieu, une autre loupe plus petite, laquelle paraît distincte de la grosse loupe sphérique avec laquelle elle est en partie confondue par adhérence. Dans le principe, et avant d'avoir acquis ses dimensions actuelles, cette grosse loupe était située latéralement sur le tronc de l'arbre; mais s'étant développée avec plus de rapidité que lui, elle en a envahi le contour de manière à joindre ses deux bords latéraux sur le côté opposé du tronc. Là, s'est trouvée une loupe plus petite qui a été pincée entre les deux bords latéraux de la grosse loupe, bords qui tendaient à se réunir. De cette manière, le tronc assez petit de l'arbre paraît traverser le centre d'une grosse protubérance sphéroïdale. Une observation du même genre a été faite par Daubenton, et de même sur un hêtre [1]. La loupe qu'il décrit était bien moins volumineuse que celle dont je donne ici la description; car elle n'avait que sept pouces de diamètre. J'ai fait couper ma loupe dans le sens vertical et dans le sens horizontal, afin d'examiner sa structure intérieure. J'ai vu que, dans l'un et dans

[1] Mémoires d'agriculture, publiés par la Société royale d'agriculture de Paris, année 1786, trimestre de printemps.

l'autre sens, elle possède des rayons médullaires disposés concentriquement, et des couches annuelles concentriques. Sur la coupe horizontale de la partie antérieure de la loupe, partie antérieure que l'on voit dans la figure 3, les rayons médullaires et les couches présentent la même disposition que l'on voit sur la coupe horizontale de la moitié d'un tronc d'arbre. Daubenton ayant donné la figure de cette coupe horizontale de la loupe, dans son Mémoire sus-mentionné, j'ai jugé inutile de la reproduire. Je me suis contenté de donner la figure de la coupe verticale de cette loupe, figure qui n'a point été donnée par Daubenton. La figure 2 représente cette coupe verticale. On y voit, et cela est fort remarquable, qu'il y a là aussi des rayons médullaires concentriques qui ont leur origine commune à un point central *a* autour duquel les couches successives de la loupe sont disposées concentriquement. Ainsi la loupe possède évidemment la constitution d'une sphère, puisque ses couches et ses rayons médullaires sont concentriques dans tous les sens. A ce caractère, on doit reconnaître un *nodule ligneux*, c'est-à-dire un *embryon gemmaire* qui s'est considérablement développé sous sa forme et avec sa constitution sphérique primitives. Ce nodule ligneux, soudé au tronc de l'arbre, est devenu une loupe. On voit en *b* l'endroit où s'est opérée cette greffe sur le tronc de l'arbre, lequel n'a guère, dans cet endroit, qu'un pouce de diamètre, ce qui indique qu'il était fort jeune lorsque est né le nodule ligneux dont le développement a produit cette loupe. Celle-ci offre vingt-cinq couches ligneuses, ce qui prouve qu'elle est âgée de vingt-cinq ans. Si l'arbre qui la porte et qui doit avoir environ trente années est demeuré aussi petit, cela provient, d'une part, de ce qu'il faisait partie d'une futaie où les arbres étaient fort pressés, et, d'une autre part, de ce que la *loupe gourmande* qu'il portait détournait à son profit une bonne partie de la séve nourricière. Les couches annuelles de cette loupe ont une épaisseur moyenne de quatre lignes, tandis que, dans le tronc de l'arbre, ces couches sont tellement minces, qu'il est à peine possible de les distinguer. Il est à remarquer que le développement en grosseur du tronc de l'arbre est exactement le même au-dessus et au-dessous de la loupe, en sorte qu'il est bien prouvé que l'accroissement extraordinaire de cette dernière n'est point, comme on pourrait peut-être le penser, le résultat d'un arrêt de la séve descendante ; car alors la partie du tronc qui est au-dessus de la loupe aurait participé à son excès d'accroissement. Il est donc certain que la loupe ne s'est accrue d'une manière aussi démesurée, que parce qu'elle possédait originairement une force d'accroissement considérable, et de beaucoup supérieure à la force d'accroissement du tronc. C'est à la différence de cette force d'accroissement, que les végétaux doivent la *différence* de leur taille. Cette différence de force d'accroissement s'observe souvent chez les individus appartenant à la même espèce végétale, et même chez des branches appartenant au même arbre. Or, la loupe dont il est ici question étant produite par le développement d'un nodule ligneux issu lui-même d'un *embryon gemmaire*, et ce dernier étant un être individuel, distinct de l'arbre qui l'a produit, on conçoit qu'il peut arriver qu'il possède une force d'accroissement bien supérieure à celle qui existe dans le tronc de l'arbre qui l'a engendré par gemmation : c'est ce qui a lieu dans le cas dont il est ici question ; c'est véritablement une *loupe gourmande*. C'est ainsi qu'on voit souvent sur les arbres des *branches gourmandes* que les jardiniers ont bien soin de retrancher, parce qu'elles attireraient à elles une trop grande partie de la séve nourricière qui est destinée à l'accroissement de l'arbre.

Les loupes végétales arrondies, dont la surface est unie, sont indubitablement dues au développement d'un seul nodule ligneux qui s'est soudé à l'arbre. Lorsque la surface des loupes est hérissée d'aspérités, elle est ordinairement le résultat de l'agglomération d'une grande quantité de

nodules ligneux soudés les uns aux autres; aussi voit-on souvent ces sortes de loupes être couvertes de petites branches mal développées. Chacune de ces branches est produite par l'un des petits nodules ligneux dont la loupe est composée : c'est alors ce que l'on nomme un *broussin*. C'est à l'existence d'un nombre immense de ces petits nodules ligneux soudés ensemble, que l'orme galeux doit la texture particulière de son bois.

Il demeure prouvé par ces observations que la génération par bourgeons ou la gemmation consiste dans la production d'un *mérithalle embryonnaire sphérique*, lequel produit ensuite, de même par gemmations successives, d'autres mérithalles embryonnaires. Ces embryons gemmaires, nés du végétal générateur, ne sont point continus avec lui dans l'origine, puisqu'ils peuvent se déplacer et prendre d'autres dispositions que celles qu'ils possèdent dans l'état normal. Plus tard on les trouve greffés au végétal générateur seulement par leur système cortical; c'est, par arrêt de formation, l'état normal des mérithalles du gui. Plus tard, enfin, le système central du nouveau mérithalle se greffe au système central du mérithalle qui le précède et devient continu avec lui; c'est l'état normal de presque tous les végétaux. Ces derniers sont ainsi des agglomérations d'êtres semblables produits par des générations successives, et soudés les uns aux autres. L'embryon végétal *simple* ne possède à son sommet qu'une seule feuille, ainsi que je l'ai fait voir dans mon Mémoire sus-mentionné [1]. Le nombre des feuilles qui couronnent un mérithalle indique donc le nombre des embryons soudés longitudinalement qui le forment par leur assemblage. Ainsi l'embryon séminal monocotylédon est un embryon simple; l'embryon séminal dicotylédon ou polycotylédon est formé par la réunion en un seul mérithalle de deux ou de plusieurs embryons simples. Cette assertion a déjà été émise par M. Gaudichaud [2]. Ainsi l'embryon végétal considéré généralement, c'est-à-dire comme produit par génération sexuelle, ou comme produit par génération gemmaire, peut être défini de la manière suivante. C'est un corps organique globuleux possédant intérieurement la constitution d'une sphère, lequel naît dans le tissu du végétal générateur, et qui ne produit qu'une seule feuille. Par l'effet du développement cette sphère embryonnaire passe successivement à la forme d'ellipsoïde, et définitivement à la forme de cylindre par l'allongement considérable de la sphère primitive suivant la direction de l'un de ses diamètres. L'observation prouve que les *embryons gemmaires normaux* naissent en dedans de l'étui médullaire de la branche qui les produit, et par conséquent dans la moelle ou *médulle centrale;* ils ne peuvent arriver au jour que par le sommet du bourgeon en évolution : de là ils se jettent en dehors sur les côtés du scion formé par leur assemblage. Les *embryons gemmaires adventifs* sont produits dans l'écorce et vers sa partie superficielle, ce qui semble prouver qu'ils naissent dans le parenchyme ou dans la *médulle corticale;* ils peuvent ainsi arriver au jour par tous les points de l'écorce.

---

[1] Observations sur les variations accidentelles du mode suivant lequel les feuilles sont disposées sur les tiges des végétaux.

[2] Lettre à M. de Mirbel, imprimée dans le second volume des Archives de Botanique, 1833.

VII.

RECHERCHES SUR LES ORGANES PNEUMATIQUES ET SUR LA RESPIRATION DES VÉGÉTAUX [1].

La respiration des animaux consiste, comme on sait, dans l'absorption de l'oxygène par le sang, ou plus généralement par le liquide organique qui sert à la nutrition des organes; cette absorption de l'oxygène toujours accompagnée d'élimination d'acide carbonique a lieu dans des organes qui portent les noms de poumons, de branchies et de trachées suivant leur forme ou leur nature particulière. En outre, tous les animaux respirent un peu par la surface générale de leur corps. Les animaux consomment avec plus ou moins de rapidité l'oxygène du milieu qui les environne, et lorsque cet oxygène est consommé, le milieu dans lequel l'animal se trouve est devenu impropre à la respiration, et la mort de l'animal arrive *par asphyxie*. D'après cet exposé il parait évident que l'on peut s'assurer, d'une manière certaine, si un être vivant respire ou non en le plaçant dans une atmosphère circonscrite et en examinant s'il en absorbe l'oxygène en dégageant de l'acide carbonique. Cet essai expérimental a été fait sur les végétaux dès les premiers pas de la science dans la chimie pneumatique, et le monde savant fut surpris en apprenant par Priestley que les végétaux renfermés dans une atmosphère circonscrite, bien loin d'y anéantir le principe respirable de l'air, comme le font les *animaux*, enrichissaient au contraire, de ce principe respirable, l'air dans lequel ils étaient renfermés. Il vit que les feuilles des plantes plongées dans l'eau et exposées au soleil y dégageaient une assez grande quantité de cet *air vital*. Ingenhousz [2] poursuivit cette découverte. Il vit que le dégagement de l'*air vital*, par les feuilles submergées et exposées au soleil, n'était point dû, comme le pensait Bonnet [3], à la chaleur des rayons de cet astre, mais que cet effet dépendait essentiellement de

[1] Ce Mémoire, inédit jusqu'à ce jour, a été lu à l'Académie des Sciences de l'Institut dans sa séance du 31 octobre 1836.

[2] Expériences sur les végétaux. 1780.

[3] Recherches sur l'usage des feuilles.

l'influence de la lumière sur les parties vertes, en sorte qu'il cessait d'avoir lieu pendant la nuit ou dans l'obscurité; il vit que les fleurs vicient au contraire, la nuit comme le jour, l'atmosphère dans laquelle elles sont renfermées, et qu'il en est de même des racines. M. Th. de Saussure [1], par ses travaux véritablement classiques, a jeté une vive lumière sur cette partie intéressante de la physiologie végétale, mais seulement sous le point de vue des changements que les végétaux vivants apportent dans lés atmosphères de différentes natures dont l'expérimentation peut les environner. Il n'entre point dans mon plan de reproduire ici les faits nombreux qu'il a fait connaître; je dois me borner à retracer les traits principaux de la théorie à laquelle il a été conduit par ses expériences. Il a prouvé que, dans l'obscurité, les parties vertes, et spécialement les feuilles des végétaux, absorbent l'oxygène de l'atmosphère, et dégagent de l'acide carbonique; mais sous l'influence de la lumière ces mêmes parties opèrent un effet inverse : elles absorbent l'acide carbonique contenu dans l'atmosphère, et elles y versent de l'oxygène. Il résulte, de là, que l'effet nocturne est détruit et compensé par l'effet diurne, en sorte qu'une plante enfermée sous un récipient de verre pendant un nombre égal de jours et de nuits, se trouve n'avoir altéré d'une manière notable ni le volume, ni la pureté de son atmosphère. M. Théodore de Saussure désigne ces phénomènes successifs d'absorption nocturne et d'émission diurne de l'oxygène, sous les noms d'*inspiration* et d'*expiration*. Il pense que l'oxygène *inspiré* s'unit au carbone du végétal pour former de l'acide carbonique, lequel est dissous par l'eau de la végétation, et que l'oxygène *expiré* résulte de la décomposition de l'acide carbonique, opérée sous l'influence de la lumière par le végétal, qui s'approprie le carbone et dégage l'oxygène. M. Théodore de Saussure a constaté que le végétal s'assimile ou s'approprie une partie de l'oxygène qu'il produit, par la décomposition de l'acide carbonique, et que, s'il en exhale sous l'influence de la lumière une quantité égale et même supérieure à celle qu'il a absorbée, cela provient de ce que l'atmosphère lui a fourni de l'acide carbonique qu'il a décomposé.

Les parties vertes des végétaux ne versent pas seulement de l'oxygène sous l'influence de la lumière, elles versent aussi du gaz azote. M. Théodore de Saussure a constaté que l'air que les plantes dégagent au soleil est composé de 85 parties d'oxygène et de 15 parties d'azote. Cet auteur pense que ce gaz azote est entièrement fourni par les matières azotées que contient la plante et qu'elle a puisées avec la séve dans le sol; car il a expérimenté que les plantes n'absorbent point du tout d'azote, lorsque l'atmosphère qui les environne n'est composée que de ce seul gaz.

Le rôle que jouent les fleurs par rapport à l'air atmosphérique est tout à fait différent du rôle des feuilles et des autres parties vertes. Les fleurs, tant à la lumière que dans l'obscurité, métamorphosent l'oxygène de l'atmosphère en acide carbonique, qu'elles absorbent et qu'elles remplacent par une égale quantité de gaz azote qu'elles exhalent. Les fleurs consomment plus de gaz oxygène au soleil qu'à l'ombre, et le gaz azote qu'elles versent est plus abondant que celui qui est versé par les feuilles.

La théorie de M. Théodore de Saussure tend, en général, à faire considérer l'intervention de l'oxygène dans la végétation, comme ne servant qu'à convertir le carbone en acide carbonique qui, par sa solubilité, s'unit facilement à l'eau de la végétation. Par suite, l'action de la lumière dégage l'oxygène, et le carbone se fixe au tissu de la plante. Cette théorie est fort ingénieuse; mais son auteur, ami de la vérité, n'hésite point à convenir qu'elle ne satisfait point à tout. « Une « atmosphère, dit-il [2], composée seule-

[1] Recherches chimiques sur la végétation. 1804.

[2] Recherches chim. sur la vég., chap. III, § XI.

« ment de gaz azote et de gaz acide carbonique, n'est pas favorable à la végétation. Le gaz oxygène libre doit y « intervenir. Il y a donc une influence « indépendante de celle qui se borne à « présenter aux plantes, sous la modification de gaz acide carbonique, des éléments qu'elles puissent s'assimiler. On « peut présumer que cette seconde influence consiste non-seulement à développer dans le terreau ou dans la plante « un extrait nutritif et de l'eau, mais « encore à produire un dégagement de « calorique par l'union du gaz oxygène « avec le carbone du végétal. » Ainsi, M. Théodore de Saussure a entrevu que l'oxygène avait dans la végétation une autre influence que celle qu'il admettait par sa théorie; mais des présomptions sur cette influence inconnue ne l'ont pas conduit vers la vérité. Il a travaillé en chimiste et non en physiologiste. Il a vu qu'une partie de l'oxygène dégagé par la décomposition de l'acide carbonique, était incorporé au végétal qui se l'*assimilait*. La physiologie aperçoit dans ce phénomène un *acte respiratoire* tout à fait semblable à celui qui a lieu lors de la fixation de l'oxygène dans le tissu intime des organes des animaux. J'insiste ici sur ce fait, parce qu'il est de la plus haute importance pour l'établissement de la véritable théorie de la respiration des végétaux.

Une autre découverte de M. Théodore de Saussure, découverte qui me paraît devoir contribuer aussi à éclairer la physiologie végétale, est celle de l'absorption et de la condensation des gaz par les corps poreux [1], et notamment par les corps poreux dans lesquels abonde le carbone. Ces corps ont la singulière propriété de condenser les gaz, au point qu'un morceau de charbon de bois, par exemple, peut absorber et condenser dans ses canaux capillaires 55 fois son volume de gaz hydrogène sulfuré; 35 fois son volume de gaz acide carbonique; 9 fois et 1/4 son volume de gaz oxygène, et 7 fois 1/2 son volume de gaz azote. Or, cette action d'absorption que les corps poreux abondants en carbone exercent sur les gaz, paraît être tout à fait en harmonie avec l'action d'absorption que les végétaux exercent sur les gaz qui entrent dans la composition de l'air atmosphérique. Ainsi, le gaz acide carbonique, répandu en si petite quantité dans l'atmosphère, est cependant absorbé en grande quantité par les végétaux, ce qui prouve qu'il est attiré par leurs canaux capillaires avec beaucoup de force. Après l'acide carbonique, vient l'oxygène dans l'ordre de la force d'attraction qu'exercent les corps poreux abondants en carbone sur les gaz atmosphériques; c'est aussi le gaz que les végétaux absorbent avec le plus d'énergie après l'acide carbonique. Quant au gaz azote, M. Théodore de Saussure a prouvé que les végétaux ne l'absorbent point du tout. Cette assertion, toutefois, ne doit point être admise sans restriction; car il est des circonstances où les végétaux doivent nécessairement absorber du gaz azote, ainsi que je le ferai voir.

Les gaz condensés dans les canaux capillaires des corps poreux sont ordinairement restitués à l'état élastique par l'action de la pompe pneumatique; mais lorsque la capillarité de ces canaux est très-considérable, ainsi que cela a lieu souvent chez les végétaux, elle oppose une résistance presque insurmontable à la sortie ou à l'extraction de l'air que contiennent les canaux capillaires, ainsi que je le ferai voir dans ce mémoire. L'air reste alors dans les canaux capillaires des plantes malgré le vide le plus parfait qu'il soit possible d'obtenir, ce qui prouve la force extrême d'attraction que ces canaux capillaires exercent sur le gaz qu'ils contiennent. Je ne doute donc point que les gaz ne soient souvent accumulés à l'état de condensation dans les canaux capillaires des végétaux. On sent combien ce fait est important pour la théorie de leur respiration.

L'ensemble des phénomènes que j'ai

[1] Bibliothèque britannique, 1812.

exposés brièvement plus haut, est désigné par les phytologistes sous le nom de *respiration des végétaux;* cette *respiration*, ainsi envisagée, n'est semblable que de nom à la respiration des animaux; elle paraît même offrir des phénomènes exactement inverses. Aussi certains physiologistes pensent-ils que la vie végétale et la vie animale n'ont rien de commun; j'ai toujours pensé le contraire. *La vie est une*, les différences que présente ses divers phénomènes, chez tous les êtres qu'elle anime, ne sont point des différences fondamentales; lorsqu'on poursuit ces phénomènes jusqu'à leur origine, on voit les différences disparaître et une admirable uniformité de plan se dévoile. Ainsi l'on va voir, par les recherches qui vont suivre, que la respiration des végétaux est fondamentalement la même que la respiration des animaux, en cela qu'elle consiste comme elle dans la fixation de l'oxygène dans le tissu intime des organes auxquels cet élément de la respiration est porté par des organes spéciaux. Je rechercherai d'abord quelles sont la nature, la disposition et les communications de ces organes.

Les vaisseaux des plantes, désignés par M. de Mirbel sous les noms de *tubes poreux* et de *fausses trachées*, et par M. de Candolle sous les noms de *tubes ponctués* et de *tubes rayés*, sont considérés, par ce dernier, comme des tubes lymphatiques, et moi-même je les ai autrefois considérés comme tels. MM. Link [1] et Amici [2] les regardent comme des conduits aériens de même que les trachées. M. Amici a prouvé par des expériences très-délicates que cette opinion n'est plus une simple hypothèse; il a fait voir, en effet, que les trachées et les vaisseaux poreux du *symphytum officinale* ne contiennent que de l'air. Mes observations confirment pleinement celles de M. Amici à cet égard; moins délicates et moins difficiles à répéter que les siennes, elles ne laisseront plus subsister aucun doute dans l'esprit de ceux qui cultivent la physiologie végétale.

Les jeunes et vigoureux scions de l'églantier (*rosa canina*) sont très-faciles à rompre dans leur extrémité encore à l'état herbacé; alors on voit les nombreuses trachées de l'étui médullaire se dérouler; ces trachées sont des plus grosses. Des tranches minces et transparentes, enlevées longitudinalement sur cette tige tendre et herbacée, étant placées sur une lame de verre, couvertes d'eau et placées ainsi sous le microscope, on voit sans aucune difficulté que les trachées sont remplies d'air; rien n'est plus facile, en effet, pour ceux qui ont l'habitude du microscope, que de distinguer les organes creux à parois transparentes qui contiennent de l'air, de ces mêmes organes creux qui contiennent un liquide. C'est par un mode d'observation semblable que l'on voit, et avec plus de facilité encore dans la tige du *potamogeton sericeum*, les gros *tubes ponctués* qui sont remplis d'air; ils sont disposés sur trois rangées circulaires et concentriques; les plus gros qui sont en dehors ont un dixième de millimètre de diamètre; dans leurs intervalles sont d'autres *tubes ponctués* qui n'ont que trois centièmes de millimètre de diamètre et qui contiennent de la séve. J'ai fait des observations analogues dans la pétiole des feuilles de l'*hydrocharis morsus-ranæ*.

Les faits que je viens d'exposer ne laissent plus de doute sur l'usage des trachées et des *tubes ponctués;* les premières sont généralement destinées à contenir de l'air; les seconds, lorsque leur diamètre est considérable, sont des canaux pneumatiques; lorsqu'ils sont fort petits, ils servent de conduits à la séve. Ainsi de ce qu'un tube est couvert de ces granulations qui lui ont fait donner le nom de *tube ponctué*, il ne faut plus conclure que c'est toujours un *tube lymphatique*, car c'est très-souvent un *tube pneumatique*. La similitude apparente de l'organisation n'entraîne point ici la similitude de la fonction physiologique.

[1] Recherches sur l'anatomie des plantes.

[2] Mémoires de la Société italienne, tome XVIII, et Annales des Sciences naturelles, 1824.

Les conduits pneumatiques tubuleux appartiennent tous au système central; le système cortical possède aussi des organes pneumatiques : ce sont des cellules qui communiquent les unes avec les autres et qui sont spécialement situées dans le milieu de l'épaisseur de l'écorce, là où existent les plus grandes cellules; ce sont elles qui contiennent de l'air. A partir de ces cellules aériennes, les organes cellulaires vont en diminuant de grandeur vers le système central du végétal et vers son épiderme.

J'ai rapporté dans mon mémoire intitulé : *Recherches sur les conduits de la séve et sur les causes de sa progression*, les observations qui m'ont prouvé que c'est par les gros tubes, que je reconnais aujourd'hui pour être *pneumatiques*, que la séve de la vigne s'écoule au printemps des blessures faites au bois de cet arbuste. Ce fait est très-certain et il n'infirme point l'usage nouveau que je reconnais à ces tubes d'être des conduits pneumatiques; il prouve seulement que ces gros tubes peuvent être envahis par l'eau; mais cela n'a lieu qu'au printemps lorsque la séve lymphatique monte en abondance et que l'absence des feuilles rend à peu près nulle la transpiration du végétal. A mesure que les feuilles de la vigne se développent, on voit diminuer la quantité de la séve lymphatique qui remplit les tubes pneumatiques, et ils finissent bientôt par ne plus contenir que de l'air qui tire son origine des feuilles, ainsi que je vais le démontrer.

La plupart des physiologistes ont considéré les feuilles comme des sortes de *racines aériennes* destinées à puiser dans l'atmosphère l'eau et les autres principes qui contribuent à la nutrition du végétal. La face inférieure de la feuille, moins colorée que la face supérieure, a paru, d'après les expériences de Bonnet, être spécialement destinée à l'absorption des émanations aqueuses qui s'élèvent du sol vers lequel elle est dirigée. D'un autre côté on a reconnu que c'est dans les feuilles que s'opère l'élaboration de la séve qui rend ce fluide propre à opérer la nutrition du végétal. En conséquence, plusieurs physiologistes ont considéré les feuilles comme les poumons des plantes. Cette opinion a été reproduite récemment par M. Ad. Brongniart, dont les belles recherches anatomiques sur la structure des feuilles ont prouvé que ces organes contiennent une grande quantité de cavités pneumatiques situées spécialement à la face inférieure de la feuille, et qui communiquent avec l'air extérieur par les ouvertures des stomates. Toutefois il n'a point expérimentalement prouvé que cet air intérieur eût un usage physiologique.

Avant que M. Ad. Brongniart eût publié ses recherches microscopiques sur la structure des feuilles, j'avais vu comme lui que la face inférieure de ces organes est spécialement occupée par des cavités pneumatiques; mais j'étais arrivé à cette découverte par une autre voie : j'avais observé que certaines feuilles, et spécialement celles des légumineuses, perdaient assez promptement la teinte blanchâtre de leur face inférieure lorsqu'elles étaient plongées dans l'eau. Je soupçonnai que cela provenait de l'imbibition de la feuille dont les petites cavités pneumatiques étaient envahies par l'eau. Ce soupçon fut confirmé par l'expérience suivante : J'ai mis une feuille de haricot dans un vase de verre rempli d'eau, dans laquelle la feuille était complétement submergée, et j'ai placé ce vase sous le récipient de la pompe pneumatique. A mesure que le vide s'opérait, je voyais les bulles d'air sortir de la feuille et spécialement de tous les points de sa face inférieure. Au bout d'une demi-heure, je rendis l'air au récipient, et je vis qu'à l'instant même que l'air fut rendu, la face inférieure de la feuille perdit sa teinte blanchâtre qu'elle avait conservée jusqu'alors. Je retirai la feuille de l'eau, et je vis qu'effectivement la face inférieure était devenue aussi verte que la face supérieure. Il n'y avait plus aucune différence de coloration entre ces deux faces opposées. Ce fait me prouva que la couleur blanchâtre que possédait la face inférieure de la feuille avant l'expérience, provenait de l'air qui était contenu dans son tissu. Le

vide de la pompe pneumatique avait déterminé la sortie d'une partie de cet air qui s'était dilaté, et qui avait continué de remplir les cavités qu'il occupait; mais, au moment où la compression de l'air avait été rendue, l'air intérieur de la feuille, ayant perdu son état de dilatation, ne pouvait plus remplir les cavités qu'il occupait; il s'en était retiré, et sa place avait été occupée par l'eau. La diaphanéité de ce liquide faisait alors apercevoir sans obstacle la couleur verte du parenchyme de la feuille, couleur qui auparavant était altérée par le défaut de diaphanéité des organes superficiels qui étaient remplis d'air. Il résulte de cette observation qu'à la face inférieure de la feuille il existe une grande quantité de cavités remplies d'air, et que c'est à cette cause qu'est due la couleur blanchâtre du dessous de la feuille. Les feuilles de tous les végétaux soumises à la même expérience donnent le même résultat. Ainsi il est démontré que toutes les feuilles ont un réservoir d'air à leur face inférieure. Cet air est contenu dans des cavités qui communiquent toutes les unes avec les autres, excepté cependant celles qui sont de chaque côté des grosses nervures. On peut s'assurer de ce fait en faisant tremper dans l'eau, pendant quelques heures, des feuilles de haricot (*phaseolus vulgaris*) ou des feuilles de fève (*vicia faba*); l'eau s'introduit peu à peu dans les cavités qu'occupe l'air, et le remplace à la face inférieure de la feuille. Certaines causes locales, telles, par exemple, qu'une blessure de l'épiderme, rendent cette introduction de l'eau plus facile dans certains endroits que dans certains autres; car on voit, par exemple, l'intervalle de deux nervures entièrement envahi par l'eau, et devenu d'une couleur verte foncée, tandis que les espaces compris entre les autres nervures ont conservé leur couleur blanchâtre et par conséquent leur air. Cette observation prouve que les grosses nervures, qui sont saillantes à la face inférieure de la feuille, mettent obstacle à la communication des cavités pneumatiques d'un côté à l'autre; elle prouve en même temps que les cavités pneumatiques qui ne sont point séparées par ces grosses nervures communiquent librement entre elles. Cette prompte imbibition spontanée des cavités pneumatiques des feuilles que l'on submerge n'a lieu que chez certaines plantes, et spécialement chez les légumineuses. Les feuilles du plus grand nombre des végétaux résistent fort longtemps à cette imbibition, et conservent, plongées dans l'eau, l'air qui remplit leurs cavités pneumatiques : il est même des feuilles que l'action de la pompe pneumatique jointe à la submersion ne dépouille qu'avec une extrême difficulté de l'air contenu dans leurs cavités pneumatiques. Telles sont, par exemple, les feuilles du *chenopodium album*. Cette différence de la force avec laquelle les feuilles retiennent l'air contenu dans leurs cavités pneumatiques, provient de la différence de la capillarité de ces cavités : plus elles sont capillaires, plus elles retiennent avec force l'air qu'elles contiennent. La face supérieure des feuilles offre quelquefois des portions de son étendue qui ont une teinte blanchâtre. Ainsi, par exemple, les folioles du trèfle (*trifolium pratense*) offrent à leur face supérieure une tache blanchâtre qui a la forme d'un fer de flèche. Cette tache disparaît par l'effet de la submersion de la feuille dans le vide, ce qui prouve qu'elle est formée par des cavités pneumatiques. Il en est de même des taches blanches que présente la face supérieure des feuilles de la pulmonaire (*pulmonaria officinalis*); il en est de même des panachures des feuilles, et en général de toutes les parties blanches qu'elles présentent. Toutes ces parties doivent leur coloration en blanc à l'air contenu dans les cavités pneumatiques. Ainsi, quoique ce soit spécialement à la face inférieure de la feuille qu'existent les cavités pneumatiques, cependant il s'en trouve aussi quelquefois à la face supérieure. Chez beaucoup de graminées, c'est cette face supérieure qui seule possède les cavités pneumatiques; aussi est-ce elle qui offre la teinte blanchâtre qui est l'apanage de la face inférieure chez les autres plantes.

J'ai fait voir, dans un autre travail [1], que c'est cette face supérieure de la feuille de certaines graminées qui se dirige vers la terre au moyen de la torsion du limbe de la feuille, en sorte que, chez ces plantes, c'est la face inférieure de la feuille qui regarde le ciel.

Les pétales des fleurs ont ordinairement, comme les feuilles, leur face inférieure occupée par des cavités pneumatiques, et c'est de là que provient l'infériorité de la coloration de cette face quand on la compare à celle de la face supérieure. En effet, lorsqu'on met dans le vide des pétales plongés dans l'eau, on voit disparaître l'infériorité de la coloration de leur face inférieure. Ces expériences m'ont en outre appris un fait assez singulier, c'est que toutes les fleurs de couleur blanche ne doivent cette coloration, ou plutôt cet aspect, qu'à l'air qui remplit la plus grande partie des cellules de leur parenchyme. Ainsi, des pétales de lis, par exemple, étant mis dans le vide plongés dans l'eau, perdent leur air intérieur qui est remplacé par l'eau, et ils deviennent entièrement transparents; ils ont perdu leur couleur blanche, qu'ils ne devaient qu'à l'air contenu dans leurs cellules. La même expérience réussit plus ou moins facilement avec toutes les fleurs de couleur blanche.

Le fait de l'envahissement des cavités pneumatiques par l'eau dans laquelle les feuilles sont plongées, prouve, contre l'assertion de M. Amici, que l'eau n'occasionne point toujours l'occlusion des stomates [2], car c'est bien certainement par leur ouverture que l'eau s'introduit dans les cavités pneumatiques. Il est également bien évident que c'est par les ouvertures des stomates que l'air contenu dans ces cavités pneumatiques sort, lorsqu'on soumet la feuille submergée à l'action de la pompe pneumatique; car c'est spécialement à la face inférieure de la feuille, c'est-à-dire à la face qui contient le plus de stomates, que s'opère la sortie des petites bulles d'air. Ces observations confirment donc pleinement l'assertion de M. Amici, qui assure avoir vu que les stomates ont des ouvertures percées à jour et qui établissent la communication de l'air extérieur avec de petites cavités qui, dans l'état naturel, sont privées de liquides et constamment remplies d'air. Les observations de M. Ad. Brongniart ont à cet égard confirmé les assertions de M. Amici.

Les feuilles sont fréquemment munies de poils. Lorsqu'ils existent, ils sont toujours beaucoup plus nombreux à *la face* inférieure de la feuille qu'à sa face supérieure. Ces poils sont tous remplis d'air; c'est ce qui leur donne la couleur blanchâtre qu'ils possèdent. Ils perdent cette couleur blanche, et deviennent transparents par l'effet du vide joint à la submersion dans l'eau, ainsi que je l'ai expérimenté sur les feuilles du *verbascum phlomoides*, qui ont des poils si nombreux et si longs. Ainsi les poils peuvent être considérés, du moins pour la plupart, comme des réservoirs de l'air nécessaire pour les besoins physiologiques de la plante.

Les cavités pneumatiques de la feuille correspondent directement avec des canaux situés dans le pétiole. C'est ce qui m'a été démontré par les expériences suivantes : Je pris une feuille de *nymphea lutea*, et je la plongeai dans un vase de verre rempli d'eau en laissant l'extrémité coupée du pétiole hors de l'eau, ensuite je mis ce vase sous le récipient de la pompe pneumatique, et je fis le vide. Je ne vis point d'air sortir des parties submergées de la feuille. Lorsqu'un quart d'heure après je rendis l'air à cette dernière, elle continua de conserver la couleur d'un vert-blanchâtre de sa face inférieure, ce qui me prouva qu'elle possédait encore l'air qui, dans l'état naturel, remplit ses cavités pneumatiques. Je recommençai cette expérience avec la même feuille, en ayant soin de submerger avec son limbe son pétiole tout entier. Dès que je commençai à faire le vide, je vis des bulles d'air nombreuses s'échapper de

[1] XIIIe mémoire.

[2] Observations microscopiques sur diverses espèces de plantes (Ann. des Sc. nat., t. II).

l'extrémité coupée du pétiole; il n'en sortit point du limbe de la feuille. Le vide ayant été conservé pendant quelques minutes, je rendis l'air au récipient, et dans le moment même je vis la couleur vert-blanchâtre du dessous de la feuille se changer en vert foncé. Ce changement commença à l'insertion du pétiole, et s'étendit de là rapidement vers les bords de la feuille. Il était de la plus grande évidence que cet effet était dû à une injection d'eau qui, introduite par l'extrémité coupée du pétiole, pénétrait successivement et avec rapidité dans toutes les cavités pneumatiques de la feuille, où elle remplaçait l'air qui avait été soustrait. Lorsque l'extrémité coupée du pétiole était hors de l'eau, comme dans la première expérience, l'action de la pompe pneumatique soutirait l'air contenu dans la feuille par les canaux ouverts de cette extrémité coupée, et lorsque l'air était rendu au récipient, cet air retournait par les mêmes canaux dans les cavités pneumatiques du limbe de la feuille, laquelle conservait ainsi la couleur blanchâtre de sa face inférieure. Il n'en était pas ainsi lorsque l'extrémité coupée du pétiole était plongée dans l'eau avec le limbe de la feuille. Alors l'air qui sortait par l'extrémité coupée du pétiole submergé n'y pouvait plus rentrer; c'était l'eau qui était injectée à sa place dans les cavités pneumatiques de la feuille par la pression atmosphérique lorsqu'elle était rendue. Il faut, pour que cette expérience réussisse, que l'épiderme de la feuille soit parfaitement intact, car s'il possédait la moindre déchirure, l'air sortirait par cette voie des cavités pneumatiques de la feuille, et l'eau s'y introduirait subséquemment lorsque la pression atmosphérique serait rendue. Cette expérience, qui réussit de même avec les feuilles du *nymphea alba*, prouve que les stomates des feuilles submergées de ces plantes sont très-difficilement perméables : ils ne laissent point échapper l'air contenu dans les cavités pneumatiques de la feuille, et ils résistent à l'introduction de l'eau qui paraît déterminer leur occlusion.

Je recherchai si les feuilles des plantes qui ne sont point aquatiques me présenteraient un semblable phénomène. Je m'adressai spécialement pour cette recherche aux feuilles qui possèdent un épiderme épais et solide, telles que les feuilles du houx (*ilex acuifolium*), du laurier cerise (*prunus laurocerasus*), du lierre, etc. Je n'observai rien de semblable au phénomène d'introduction de l'eau par le pétiole que le *nymphea* m'avait montré. Dans toutes ces feuilles l'air soustrait par la pompe pneumatique sort par les stomates de la feuille avec facilité, et l'eau s'introduit par les mêmes voies dans les cavités pneumatiques. En poursuivant ces essais, j'ai trouvé enfin un arbuste dont les stomates des feuilles submergées sont difficilement perméables à l'air et à l'eau, et offrent ainsi exactement le même phénomène que celui que vient de nous offrir la feuille du *nymphea*. Cet arbuste est le *camellia japonica*. La feuille du *camellia* étant plongée dans l'eau, et son pétiole submergé, l'action de la pompe pneumatique fait sortir l'air qu'elle contient par l'extrémité coupée du pétiole seulement; on voit cet air se dégager en petites bulles au travers de l'eau. Lorsque ensuite on rend la pression atmosphérique, celle-ci fait entrer par le pétiole l'eau qui s'introduit dans les cavités pneumatiques de la feuille, où elle remplace l'air soustrait. La face inférieure de la feuille perd alors sa couleur blanchâtre dans sa partie qui est envahie par l'eau, c'est-à-dire seulement dans sa moitié voisine du pétiole; l'autre moitié, ou à peu près, conserve son air et sa couleur blanchâtre. Si dans cette expérience on laisse émerger l'extrémité coupée du pétiole, le limbe de la feuille étant submergé, le retour de la pression atmosphérique ne fait point pénétrer d'eau dans les cavités pneumatiques de la feuille dont la face inférieure conserve sa couleur blanchâtre. C'est exactement le même phénomène que celui que nous venons d'observer avec la feuille du *nymphea*. Ces expériences prouvent ce fait très-important pour la physiologie végétale, que *les cavités pneumatiques des*

feuilles sont en communication directe et facile avec des canaux pneumatiques situés dans le pétiole. Ces canaux sont faciles à déterminer chez la feuille du *nymphea;* ce sont ceux dont on voit les ouvertures à l'œil nu sur la coupe transversale du pétiole. Ils n'offrent aucune cloison dans leur intérieur; en sorte qu'en prenant un de ces pétioles duquel on a enlevé le limbe de la feuille, on peut souffler par une des extrémités et faire sortir l'air par l'autre extrémité que l'on tient plongée dans l'eau, pour apercevoir la sortie de l'air. Ces canaux sont des tubes irrégulièrement hexagones; leurs parois sont formées de petites cellules agglomérées, ainsi que cela a lieu pour les tubes pneumatiques de toutes les plantes monocotylédones. Dans les angles intérieurs de ces tubes hexagones, se trouvent des organes étoilés qui ont été décrits par M. Amici [1], et qui sont évidemment de véritables poils tantôt simples, tantôt bicuspides, tantôt tricuspides. Ces poils font saillie dans la cavité du tube pneumatique. Il est à remarquer que, dans les tubes voisins, ils naissent à la même hauteur et opposés les uns aux autres, en sorte que leur assemblage représente une étoile sur la coupe transversale de ces tubes. En observant des feuilles naissantes, j'ai vu l'origine de ces poils intérieurs qui commencent par une production en massue, ayant autant de petites bosses qu'il y aura de ramifications du poil. Il me paraît probable que ces poils sont des organes pneumatiques intérieurs, qui, placés dans de larges canaux remplis d'air, y jouent le rôle, quel qu'il soit, que jouent dans l'air les poils extérieurs qui sont aussi des organes pneumatiques.

Les canaux qui servent de conduits à l'air dans le pétiole de la feuille du *camellia japonica* sont de gros tubes ponctués en chapelet, lesquels sont rassemblés en faisceau au côté interne ou supérieur du pétiole; ils sont logés dans le canal demi-circulaire ou sorte de gouttière longitudinale que forment les tubes lymphatiques par leur assemblage; ces derniers vaisseaux sont des *tubes rayés* et des *tubes ponctués* dont le diamètre n'est guère que le tiers de celui des tubes pneumatiques.

J'ai dit plus haut qu'en injectant la feuille du *nymphea* par son pétiole, et au moyen du procédé que j'ai indiqué, on remplissait entièrement d'eau les organes pneumatiques de cette feuille, tandis que chez la feuille du *camellia* on ne parvenait à remplir d'eau, par le même procédé, que la moitié de ces organes pneumatiques; l'autre moitié, *celle qui* est située du côté du sommet de la feuille, restait remplie d'air après l'injection, laquelle ne remplissait que la moitié située du côté du pétiole. La cause de cette différence est facile à saisir : les organes pneumatiques de la feuille du *nymphea* sont peu capillaires; l'air qu'ils contiennent en est facilement extrait par le vide de la pompe pneumatique; le peu d'air qui leur reste alors est aussi dilaté que l'est l'air contenu dans le reste du récipient. On conçoit que cette dilatation de l'air est extrême lorsque le vide est fait jusqu'à l'abaissement du mercure du manomètre à deux lignes, ainsi que je l'ai fait dans ces expériences. Or, lorsque après une semblable dilatation de l'air contenu dans les organes pneumatiques de la feuille, on lui rend la pression atmosphérique, cet air, rendu à son état de condensation naturelle, se trouve ne plus occuper qu'un espace à peu près imperceptible vers les bords de la feuille dont les organes pneumatiques paraissent ainsi entièrement remplis d'eau. Or, puisque, après la même expérience, la moitié des organes pneumatiques de la feuille du *camellia* se trouve encore remplie d'air, cela prouve que cet air intérieur de la feuille, contenu dans des cavités pneumatiques extrêmement capillaires, ne s'était point dilaté dans le vide à l'égal de l'air contenu dans le reste du récipient; la délatation n'équivalait à peu près qu'à un abaissement de la moitié de la colonne barométrique, ou à quatorze

[1] Observations microscopiques sur diverses espèces de plantes (Ann. des Sc. nat., t. II).

pouces environ, tandis que la dilatation de l'air du récipient équivalait à 83/84 de la colonne barométrique, ou à deux lignes. Ce fait met bien en évidence le pouvoir que possède la capillarité des canaux pneumatiques pour s'opposer à l'expansion des gaz qu'ils contiennent, et cela en vertu de l'attraction qu'ils exercent sur ces gaz. Il est très-évident que cette même attraction capillaire qui s'oppose ici à la dilatation des gaz est la cause qui opère leur absorption et leur condensation si surprenante par les corps poreux. En effet, l'action d'opposition à l'expansion est ici la même que l'action de condensation. Ainsi il est démontré par l'expérience que les cavités pneumatiques capillaires des végétaux exercent une action de condensation sur les gaz qu'ils contiennent; par conséquent, ces cavités pneumatiques peuvent contenir, sous un très-petit volume, une quantité très-considérable d'air dont l'usage physiologique sera démontré plus bas. En attendant, je déduis de mes expériences ce résultat anatomique neuf et important, que *les cavités pneumatiques des feuilles communiquent avec la tige au moyen de tubes pneumatiques situés dans le pétiole.*

Il est un autre fait relatif à la structure des feuilles, qui me paraît ne pas avoir frappé les observateurs; c'est celui de l'existence de deux lames distinctes chez les feuilles; l'une de ces lames est supérieure, et l'autre est inférieure; c'est dans leur intervalle, plus ou moins cloisonné, qu'existent les cavités pneumatiques. Cette cavité n'est point cloisonnée du tout, et les deux lames de la feuille ne sont continues que par leurs bords chez le buis (*buxus sempervirens*). Ces bords étant coupés, les deux lames de la feuille se séparent. La lame supérieure, plus épaisse et plus foncée en couleur verte que la lame inférieure, contient seule les vaisseaux lymphatiques; la lame inférieure ne contient que du tissu cellulaire. Cette cavité pneumatique unique que contient la feuille du buis est évidemment l'analogue de la cavité remplie d'air qu'offrent les feuilles tubuleuses telles que celles des alliacées. La lame inférieure de la feuille est ordinairement moins colorée en vert que la face supérieure; quelquefois elle est colorée en rouge, ainsi que cela s'observe chez le *begonia sanguinea* et chez beaucoup d'autres plantes. Cette différence qui existe dans la matière colorante des deux lames des feuilles, est certainement en rapport avec les fonctions qui sont départies à chacune d'elles.

Je vais rechercher actuellement d'abord quelle est la nature de l'air contenu dans les organes pneumatiques des plantes, et ensuite quelle est son origine.

M. Th. de Saussure a analysé l'air extrait du tissu des plantes par le moyen de la pompe pneumatique, et il a trouvé que c'est toujours un mélange d'oxygène et d'azote dans lequel l'oxygène est en moindre quantité que dans l'air atmosphérique. Mes expériences m'ont conduit au même résultat, et j'ai vu que les quantités respectives d'oxygène et d'azote que contient l'air extrait des plantes sont extrêmement variables. Cet air intérieur est, comme on sait, bien plus abondant chez les plantes aquatiques qu'il ne l'est chez les plantes non aquatiques. Cela m'a permis de rechercher quelles étaient les quantités comparatives d'oxygène et d'azote que contenaient les feuilles, les tiges et les racines d'un même individu de *nymphea lutea*. J'ai trouvé que l'air contenu dans les feuilles était composé de dix-huit parties d'oxygène et de quatre-vingt-deux parties d'azote. La tige rampante et submergée de cette plante m'a fourni de l'air composé de seize parties d'oxygène et de quatre-vingt-quatre parties d'azote. Enfin, l'air extrait des racines de la même plante m'a donné huit parties d'oxygène et quatre-vingt-douze parties d'azote. Cet air était extrait des parties végétales au moyen de la pompe pneumatique, et en les tenant sous une cloche remplie d'eau dépouillée d'air. Je me suis servi pour l'analyser de l'eudiomètre à phosphore, lequel me donnait pour l'air atmosphérique dépouillé d'acide carbonique, vingt et une parties d'oxygène etsoixante-dix-neuf parties d'azote en volume. Il est à remarquer

que c'est dans les feuilles que se trouve l'air le moins altéré, et que cet air devient plus pauvre en oxygène dans la tige et plus pauvre encore dans les racines. Ce fait peut faire soupçonner, de prime abord, que c'est des feuilles que vient l'air riche en oxygène, et qu'en pénétrant par les canaux pneumatiques dans la tige et de là dans les racines, il y perd progressivement sa richesse en oxygène par l'absorption qu'en ferait le tissu vivant végétal. Ce soupçon va se changer en certitude, par l'observation qui va dévoiler l'origine de l'air qui existe dans toutes les parties des plantes.

Tout a été fait relativement à l'examen chimique des changements que les végétaux font éprouver à l'atmosphère qui les environne, mais si la science est satisfaite ici sous le point de vue chimique, elle est loin de l'être sous le point de vue physiologique. Ainsi l'on sait que sous l'influence de la lumière les parties vertes des végétaux versent de l'oxygène dans l'atmosphère, mais on ignore de quels organes de la plante sort cet oxygène. En observant ce qui se passe chez une feuille de plante non aquatique plongée dans l'eau et exposée à la lumière, on voit que c'est spécialement à la face inférieure de la feuille que se dégagent les bulles d'oxygène; or, comme c'est à cette face inférieure que sont spécialement situés les stomates qui communiquent avec les cavités pneumatiques de la feuille, on peut soupçonner que c'est de ces cavités pneumatiques que l'oxygène gazeux mêlé d'un peu de gaz azote sortirait par les ouvertures des stomates. Pour voir si ce soupçon était fondé, j'ai plongé dans l'eau d'un bocal de verre bien diaphane, une feuille de *nymphea alba*, et je l'ai exposée simplement à la lumière diffuse. Je savais par mes expériences précédentes, que les stomates de cette feuille, lorsqu'elle est submergée, ne laissent point passer au dehors l'air contenu dans ses cavités pneumatiques. Si mon soupçon était fondé, il ne devait se dégager aucune bulle d'air sur le limbe de cette feuille submergée, et comme il m'était démontré que les cavités aérifères de la feuille étaient en communication directe et facile avec les canaux pneumatiques du pétiole, c'était par l'extrémité coupée de ce pétiole que l'air produit dans le limbe de la feuille par l'influence de la lumière devait exclusivement se dégager. Ce fut effectivement ce qui arriva. J'avais choisi une feuille dont le limbe était exempt de toute blessure. Je la mis le soir dans l'eau d'un bocal placé dans un appartement fermé auquel je rendais la lumière le matin. Tant que la feuille fut dans l'obscurité elle ne dégagea aucune bulle d'air. Lorsque je lui eus rendu la lumière diffuse, elle ne dégagea encore aucune bulle d'air pendant la première heure, mais ensuite le dégagement d'air commença à se manifester et devint très-abondant; cet air sortait par bulles pressées des canaux pneumatiques ouverts à la section du pétiole, il n'en sortit pas une seule bulle sur le limbe de la feuille ni sur la surface du pétiole. Ce dégagement d'air dura pendant toute la journée; il s'arrêta le soir lorsque la lumière commença à perdre de son intensité. Le lendemain matin ce dégagement d'air suspendu pendant la nuit, recommença et s'effectua comme la veille, s'arrêta de nouveau à l'approche de la nuit et recommença le surlendemain matin. J'ai observé ainsi cette succession de phénomènes pendant huit jours. Je pensai que d'autres plantes aquatiques submergées me donneraient lieu de faire les mêmes observations. Je plongeai donc dans des bocaux pleins d'eau des tiges feuillées de *potamogeton sericeum*, de *myriophyllum spicatum* et des feuilles d'*hydrocharis morsus-ranæ*. Les deux premières plantes dégagèrent à la lumière diffuse une grande quantité d'air par la section de leur tige et par tous les endroits où les nervures de leurs feuilles étaient blessées accidentellement, la feiulle de l'*hydrocharis* dégagea de l'air seulement par la section de son pétiole; cet air sortait des gros tubes pneumatiques ponctués chez le *potamogeton* et chez l'*hydrocharis*; il sortait chez le *myriophyllum* de larges canaux dont l'assemblage offre un aspect très-élégant sur la coupe transversale de la tige. La figure 5

de la planche 14 représente cette coupe transversale de la tige du *myriophyllum spicatum;* elle offre à peu près l'image d'une roue à douze rayons. Ce sont les intervalles *a* de ces rayons qui sont les ouvertures transversales des douze canaux pneumatiques longitudinaux que contient la tige du *myriophyllum*.

La feuille de l'*hydrocharis*, dans l'état adulte, flotte à la surface de l'eau comme celle du *nymphea;* ce n'est de même que lorsqu'elle est nouvellement issue de la tige située au fond de l'eau, qu'elle est complétement submergée. L'état de submersion est au contraire l'état constant du *potamogeton sericeum* et du *myriophyllum spicatum.* J'ai donc voulu voir si les feuilles du *nymphea* et de l'*hydrocharis*, flottantes à la surface de l'eau, dégageraient encore de l'air par la section de leur pétiole submergé; le résultat de ces expériences fut négatif; il ne sortit pas une seule bulle d'air par la section du pétiole de ces feuilles. Que devenait donc alors l'air, qui, produit par l'influence de la lumière dans le limbe de la feuille, était, chez la feuille submergée, refoulé dans les canaux pneumatiques du pétiole? Il est évident que cet air était alors versé dans l'atmosphère par les ouvertures des stomates exclusivement situés à la face supérieure de la feuille. Ces stomates étaient fermés par l'action de l'eau chez la feuille submergée, ce qui est conforme à l'opinion de M. Amici. Alors l'air produit continuellement dans le limbe de la feuille n'avait plus d'autre issue que l'ouverture des canaux pneumatiques dans lesquels cet air était refoulé; de nouvelles issues lui étant fournies par les stomates ouverts dans l'atmosphère, la pression de la colonne d'eau dans laquelle plongeait le pétiole faisait monter ce liquide dans les canaux pneumatiques, desquels il expulsait l'air qui remontait alors dans les cavités pneumatiques de la feuille pour de là être expulsé dans l'atmosphère par les stomates réouverts. Or, dans l'état naturel il n'en est pas ainsi en tous points; sans doute une partie de l'air produit dans le limbe de la feuille par l'influence de la lumière, est versée dans l'atmosphère par les ouvertures des stomates; mais une partie de cet air est aussi refoulée dans les canaux pneumatiques du pétiole, dans la cavité desquels l'eau extérieure ne peut s'introduire pour refouler cet air vers la feuille, ainsi que cela a lieu lorsque le pétiole est coupé; aussi ces canaux pneumatiques sont-ils toujours entièrement remplis d'air. A l'effet de cette impulsion s'ajoute nécessairement l'effet de l'*attraction* énergique que les canaux très-capillaires exercent sur les gaz pour les introduire et même pour les condenser dans leurs cavités. Ainsi l'air pénètre dans les canaux pneumatiques des végétaux par l'effet simultané d'une *impulsion* et d'une *attraction*. C'est cette dernière cause qui doit agir spécialement lorsque les canaux pneumatiques sont très-capillaires.

Il résulte de ces observations, que l'air produit dans les feuilles par l'influence de la lumière, est introduit de prime abord dans les organes pneumatiques de la feuille. Pressé dans ces organes par le fait de son accumulation continuelle, il s'échappe au dehors par les ouvertures des stomates chez les feuilles placées dans l'air et chez ces mêmes feuilles placées dans l'eau, lorsque leurs stomates sont de nature à ne point se fermer tout à fait par l'effet du contact de l'eau; ce dernier effet s'observe chez presque toutes les plantes qui ne sont point aquatiques. Chez les plantes aquatiques, au contraire, ou qui n'ont point de stomates, ou dont les stomates se ferment tout à fait par le contact de l'eau lorsqu'elles sont submergées, l'air produit dans la feuille ne pouvant s'échapper au dehors, est refoulé tout entier dans les organes pneumatiques du pétiole, de là dans ceux de la tige, et enfin dans ceux des racines. C'est de là que provient l'énorme quantité d'air que les plantes aquatiques possèdent dans leur tissu, lequel en est quelquefois tout gonflé. Ce refoulement a montré ses effets à plusieurs observateurs, qui n'en ont point connu le mécanisme. C'est ainsi que Hales a vu, dans ses expériences,

que beaucoup d'air était chassé des extrémités tronquées des tiges et des racines. Le bruissement continuel que l'on entend dans un trou pratiqué au tronc d'un peuplier, suivant l'expérience de Coulomb, atteste de même le mouvement continuel de l'air refoulé dans les tubes pneumatiques de la tige. Lorsque cet air cesse d'être introduit, les tubes pneumatiques se remplissent quelquefois d'eau ; c'est ce qui a lieu lors de l'absence des feuilles pendant l'hiver. Alors, il n'y a plus d'air refoulé dans les tubes pneumatiques de la tige; ces tubes sont donc facilement envahis par la séve, lorsqu'elle commence à subir l'impulsion qui la fait monter. C'est pour cela que les tubes pneumatiques de la vigne servent alors de conduits à la séve ascendante, ainsi que je l'ai démontré. Lorsque les feuilles se sont développées, elles produisent l'air qui est refoulé dans les tubes pneumatiques et qui chasse l'eau qui les avait envahis.

Il ne me paraissait pas douteux que l'air, dégagé par la section des tiges et des pétioles des feuilles des plantes aquatiques submergées, ne fût de l'oxygène mêlé d'une petite quantité d'azote, comme l'est l'air qui sort des feuilles submergées des végétaux non aquatiques, lorsqu'elles sont exposées à la lumière; toutefois, j'ai voulu m'en assurer par l'expérience : j'ai recueilli dans un flacon l'air qui se dégageait à la lumière diffuse, par la partie inférieure coupée transversalement de trois tiges de *myriophyllum spicatum* plongées dans l'eau d'un bocal. Il ne se dégageait aucune bulle d'air sur la surface de leurs feuilles nombreuses et linéaires. J'étais dans ce moment privé de moyens de faire des expériences eudiométriques, j'y suppléai, d'une manière qui me parut suffisante, par l'expérience suivante : j'introduisis, dans le flacon plein de l'air que j'avais recueilli, un petit morceau d'amadou allumé; cette substance, comme on sait, brûle dans l'air atmosphérique avec lenteur et presque d'une manière obscure; or, étant introduite dans le flacon, elle brûla sur-le-champ avec rapidité et, en jetant beaucoup d'éclat. Il me fut suffisamment prouvé par cette expérience, que l'air que j'avais recueilli était non sans doute de l'oxygène pur, mais bien certainement de l'air beaucoup plus riche en oxygène que ne l'est l'air atmosphérique. M. Théodore de Saussure a trouvé que l'air, dégagé au soleil par des feuilles submergées, contenait quatre-vingt-cinq parties d'oxygène et quinze parties d'azote. L'air que j'avais recueilli et qui a servi à l'expérience ci-dessus, devait avoir une composition à peu près semblable. Sa composition exacte m'importait peu, il me suffisait de savoir qu'il était beaucoup plus riche en oxygène que ne l'est l'air atmosphérique.

Il est donc prouvé par l'expérience, que l'oxygène produit par les feuilles sous l'influence de la lumière, est introduit dans leurs cavités pneumatiques, et que de là il est refoulé ou injecté dans les canaux pneumatiques des pétioles et des tiges chez les plantes aquatiques; il s'agissait de savoir si les mêmes phénomènes physiologiques ont lieu chez les plantes qui vivent dans l'air atmosphérique. Pour pouvoir observer le refoulement de l'air produit par la feuille dans les canaux pneumatiques de son pétiole, il fallait avoir recours à des feuilles dont les stomates fussent de nature à se fermer tout à fait par le contact de l'eau ; or, c'est ce que j'ai précédemment trouvé dans les feuilles du *camellia japonica,* par l'expérience qui m'a fait voir que les feuilles de ce végétal, plongées dans l'eau et soumises à la pompe pneumatique, ne laissaient point échapper leur air intérieur par leurs stomates, mais seulement par l'extrémité coupée du pétiole, se comportant ainsi, dans cette circonstance, comme les feuilles du *nymphea.* Il me parut probable qu'elles devaient aussi se comporter comme ces dernières, relativement à l'émission, par l'extrémité coupée du pétiole, de l'air produit par l'influence de la lumière dans la feuille submergée. Je mis donc plusieurs feuilles de *camellia* dans plusieurs bocaux pleins d'eau, dans le milieu de laquelle ces feuilles flottaient suspendues et retenues par un poids. Cette expérience avait

été établie vers le milieu du jour, et les bocaux étaient placés dans un appartement où ils n'étaient éclairés que par la lumière diffuse. Je n'observai aucune émission d'air ni par le limbe des feuilles, ni par la section de leur pétiole. Les volets de l'appartement demeuraient fermés pendant la nuit; lorsque je les ouvris le lendemain matin, les feuilles de *camellia*, exposées de nouveau à la lumière diffuse, commencèrent, après un espace de temps de quinze à vingt-cinq minutes, à émettre de l'air qui sortait par bulles très-petites et pressées de la section de leur pétiole. Cette émission d'air était faite seulement par les vieilles feuilles, les jeunes feuilles n'en émirent point du tout. Après un quart d'heure ou vingt minutes au plus de durée, cette émission d'air s'arrêta, et elle ne se renouvela pas de la journée, même sous l'influence des rayons solaires auxquels je soumis l'un des bocaux qui contenaient les feuilles. Aucune bulle d'air ne se manifesta sur le limbe des feuilles. Je ne savais à quoi attribuer la brièveté singulière du temps pendant lequel la feuille du *camellia* avait émis de l'air sous l'influence cependant continuée de la lumière; je m'empressai donc d'observer les mêmes feuilles le lendemain matin, pour voir si leur émission d'air se renouvellerait et si elle aurait plus de durée. Cette émission se renouvela en effet, après quinze à vingt-cinq minutes d'exposition des feuilles submergées à la lumière diffuse; cette émission ne dura, comme la veille, que pendant environ un quart d'heure, et comme la veille encore, les feuilles les plus jeunes n'émirent point d'air du tout. Ce phénomène resta de même suspendu pendant tout le reste de la journée, et il se renouvela avec les mêmes circonstances le matin du troisième jour; mais alors j'observai que l'émission d'air était devenue bien moins abondante. Ayant retiré les feuilles de l'eau, je vis que les cavités pneumatiques de leur face inférieure commençaient à se remplir d'eau, ce qui se distinguait à ce que, dans les endroits où ces cavités étaient envahies par l'eau, la couleur blanchâtre de la feuille avait disparu et avait été remplacée par une couleur verte foncée. Je mis donc fin à cette expérience, qui m'avait démontré que les végétaux qui vivent dans l'air se comportent comme les plantes aquatiques sous le point de vue de l'introduction, dans les organes pneumatiques de leurs feuilles, de l'air produit par ces organes sous l'influence de la lumière, et sous le point de vue du refoulement de cet air dans les canaux pneumatiques du pétiole; ce qui implique que ce refoulement a lieu jusque dans les canaux pneumatiques de la tige. Le défaut d'émission d'air par la section du pétiole des jeunes feuilles du *camellia* me paraît provenir de ce que les tubes pneumatiques du pétiole de ces jeunes feuilles sont encore trop capillaires; ils sont moins larges que ceux des vieilles feuilles, et par cela même leurs canaux résistent davantage au passage de l'air, qui tend à les traverser par l'effet du refoulement qu'il éprouve. On sait, d'ailleurs, par les expériences d'Ingenhousz, que, sous l'influence de la lumière, les jeunes feuilles produisent bien moins d'oxygène que celles qui sont complétement développées.

J'ai dit plus haut, que les feuilles de *nymphea*, qui versent de l'oxygène par l'extrémité coupée de leur pétiole, cessent d'opérer cette émission lorsqu'elles cessent d'être entièrement plongées dans l'eau; il en est de même pour les feuilles de *camellia*. Ayant retiré à moitié de l'eau une de ces feuilles, tandis qu'elle opérait son émission d'oxygène par l'extrémité de son pétiole, cette émission cessa presque sur-le-champ, et cela, probablement, parce que ses stomates s'étaient ouverts dans l'air.

Il me restait à savoir pourquoi la feuille du *camellia* n'émet de l'air, sous l'influence de la lumière, que le matin et pendant un si court espace de temps; il me parut probable que, chez cette feuille, l'influence de la lumière consommait rapidement la matière ou les *conditions particulières de la matière organique*, en vertu desquelles la production de l'air avait lieu

sous l'influence de la lumière, et que ces *conditions particulières de la matière organique* se réparaient ou se reproduisaient pendant l'obscurité de la nuit. Pour savoir à quoi m'en tenir à cet égard, je fis l'expérience suivante : deux feuilles de *camellia,* plongées dans l'eau d'un bocal, ayant fait leur émission d'air par la section du pétiole comme à l'ordinaire le matin, j'attendis une heure pour être bien assuré que cette émission était irrévocablement terminée pour le reste de la journée. Alors je couvris le bocal avec un récipient opaque, en sorte que les feuilles se trouvèrent dans l'obscurité que je laissai subsister pendant six heures. A trois heures après midi je rendis la lumière diffuse à mes feuilles, et vingt minutes après, l'une d'elles commença à émettre de l'air par la section de son pétiole; deux minutes après, l'autre feuille commença à en faire autant. Cette émission d'air dura, comme à l'ordinaire, environ un quart d'heure. Ainsi, il me fut démontré que pendant l'obscurité la feuille du *camellia* récupère ce qu'elle avait perdu sous l'influence de la lumière et qu'elle se trouve de nouveau pourvue des *conditions particulières* en vertu desquelles elle est apte à émettre de l'oxygène sous l'influence de la lumière, mais toujours pendant un quart d'heure seulement. Cette feuille diffère singulièrement, à cet égard, des feuilles de la plupart des autres végétaux qui émettent de l'oxygène sans interruption, pendant toute la durée du jour. Toutefois, la brièveté du temps pendant lequel la feuille du *camellia* émet de l'oxygène, sous l'influence de la lumière, est un fait précieux pour la physiologie végétale, en ce qu'il apprend que ce n'est pas seulement l'interruption de la lumière qui suspend l'émission de l'oxygène, par les parties vertes des végétaux, mais qu'il y a en eux certaines conditions matérielles indispensables pour cette émission, conditions que l'action de la lumière épuise et qui se renouvellent dans son absence. Ce fait me paraît en harmonie avec la théorie de M. Th. de Saussure qui a prouvé que l'oxygène produit par les feuilles exposées à la lumière, provient de la décomposition de l'acide carbonique dissous dans leurs liquides organiques. En effet, pendant l'obscurité, les végétaux fabriquent de l'acide carbonique qui doit saturer leurs liquides organiques, et comme ils fabriquent de cet acide carbonique au delà de leurs besoins, ils en versent dans l'atmosphère. Au retour de la lumière les parties vertes végétales se trouvent ainsi pourvues de la *condition particulière,* c'est-à-dire de l'acide carbonique en dissolution, qui fournit à la production de l'oxygène dont les organes respiratoires de la plante se remplissent alors et dont l'excès est versé au dehors. Ainsi, pendant le jour, les parties vertes des végétaux fabriquent leur oxygène respiratoire qu'ils consomment à mesure, en sorte que les organes pneumatiques se trouvent toujours ne contenir qu'un air inférieur, par sa proportion d'oxygène, à l'air atmosphérique; pendant la nuit ils respirent, à la fois, par le moyen de ce qui reste d'oxygène dans leurs organes pneumatiques et par le moyen de l'absorption de l'oxygène atmosphérique. C'est sous l'influence de cette double respiration que s'opèrent la production et l'émission du gaz acide carbonique; cette fabrication de l'acide carbonique a lieu très-probablement au moyen de la fixation de l'oxygène sur le carbone dissous dans la sève lymphatique, et qui est puisé par les racines dans les engrais du sol. Le gaz acide carbonique de l'atmosphère intervient aussi pour s'adjoindre, par absorption, à celui qui est fabriqué par la plante. Le fait de cette absorption du gaz acide carbonique atmosphérique, par les plantes, et le fait de sa décomposition pour donner lieu à l'émission de l'oxygène, sous l'influence de la lumière, sont démontrés d'une manière irréfragable par les expériences de M. Th. de Saussure.

Je me suis assuré, par plusieurs expériences, de l'influence qu'exerce l'acide carbonique dissous dans l'eau sur l'émission de l'oxygène par les plantes submergées. J'ai expérimenté, ainsi que l'avait fait déjà Ingenhousz, que les feuilles dégagent bien plus d'oxygène à la lumière

lorsqu'elles sont plongées dans de l'eau de source, qui contient de l'acide carbonique, que lorsqu'elles sont plongées dans de l'eau de pluie, qui n'en contient pas d'une manière appréciable. Je dois prévenir, à ce sujet, que c'est avec de l'eau de source, qui précipite fortement par l'eau de chaux, et qui, par conséquent, contient une quantité assez notable d'acide carbonique, que j'ai fait toutes les expériences rapportées dans ce Mémoire. J'ai vu, qu'en ajoutant à cette eau, dans laquelle baignaient mes plantes en expérience, une petite quantité d'eau chargée d'acide carbonique en dissolution, j'augmentais considérablement et de suite leur émission d'oxygène; mais si cette addition d'eau acidulée était plus forte, l'émission d'oxygène était complétement interrompue, et elle ne se renouvelait que deux ou trois jours après, c'est-à-dire lorsque l'acide carbonique en excès ajouté à l'eau s'était dissipé dans l'atmosphère. Cette expérience offre un résultat un peu différent de celui des expériences par lesquelles M. Théodore de Saussure a prouvé que la plus petite dose d'acide carbonique ajoutée à l'air, est nuisible aux végétaux placés à l'ombre. Les plantes soumises à mes expériences étaient à l'*ombre*, puisqu'elles étaient dans un appartement bien éclairé, il est vrai, mais sans qu'elles y reçussent la lumière directe des rayons solaires. Ainsi, l'addition de l'acide carbonique dans une certaine proportion à l'eau de source, qui en contient déjà, est favorable à la plante aquatique submergée, puisqu'elle favorise l'exercice de l'une de ses fonctions les plus importantes, c'est-à-dire la production de l'oxygène: une trop forte addition de cet acide est nuisible à cette plante, puisqu'elle occasionne l'interruption de cette même fonction. Ainsi, il y a sous ce point de vue une différence très-marquée entre les plantes placées dans l'eau et les plantes placées dans l'air atmosphérique. M. Théodore de Saussure a expérimenté qu'un douzième d'acide carbonique ajouté à l'air atmosphérique, est favorable aux végétaux exposés au soleil. Ainsi, les végétaux à l'ombre et dans l'eau, et les végétaux au soleil et dans l'air, paraissent être dans les mêmes conditions, relativement au bien qu'ils éprouvent par l'addition d'une certaine quantité d'acide carbonique au milieu qui les environne.

J'ai constaté ce fait, vu il y a longtemps par Ingenhousz et par Bonnet, que les plantes n'émettent point d'oxygène dans l'eau non aérée. Ingenhousz pensait que cela provenait de ce que l'eau non aérée, avide de dissoudre de l'air, s'emparait de l'oxygène produit par les feuilles au soleil à mesure qu'il était produit. Mais il est évident que telle n'est point la théorie de ce phénomène; car l'eau finirait par être saturée d'oxygène, si la feuille en produisait. Or, il n'en est rien. L'eau non aérée dans laquelle j'avais plongé une tige de *myriophyllum* garnie de ses innombrables feuilles, et que j'avais isolée de l'atmosphère au moyen d'une couche d'huile, cette eau, dis-je, ne s'aéra point; la plante n'y dégagea point d'oyxgène, elle y mourut et ne tarda pas à s'y pourrir. L'eau qui est soumise à la pompe pneumatique ou à l'ébullition, perd à la fois l'air riche en oxygène qu'elle contient toujours et l'acide carbonique qu'elle contient souvent; par conséquent, la plante qui est plongée dans cette eau n'a plus aucun moyen de fabriquer de l'oxygène, puisque d'une part son milieu ambiant ne lui fournit plus d'acide carbonique à décomposer, et que d'une autre part elle n'a plus d'oxygène libre à sa disposition, pour faire de l'acide carbonique en l'unissant à son carbone, acide carbonique qu'elle décomposerait ensuite pour fabriquer du gaz oxygène. Il n'y a plus, en effet, d'oxygène dissous dans l'eau, ou il y en a trop peu, et l'oxygène qui existait dans les organes pneumatiques de la plante au moment de son immersion, disparaît absorbé par l'eau non aérée qui le dissout avec avidité. En effet, lorsqu'on plonge une feuille quelconque dans de l'eau non aérée, on voit, au bout de très-peu de temps, disparaître complétement la couleur blanchâtre de la face inférieure de la feuille; cette face devient aussi verte que la face supérieure. Cet effet est dû à

ce que l'eau non aérée, qui est avide de dissoudre de l'air, s'empare rapidement de celui qui est contenu dans les cellules pneumatiques qui se trouvent à la face inférieure de la feuille; ces cellules, en même temps, se remplissent d'eau, et cela fait disparaître la couleur blanchâtre du dessous de la feuille, couleur qui était due à la présence de l'air dans les cellules, ainsi que je l'ai démontré. Cet envahissement des cellules pneumatiques par l'eau, n'a lieu qu'après une immersion prolongée quelquefois pendant un grand nombre de jours chez les feuilles de beaucoup de plantes, lorsqu'elles sont plongées dans l'eau aérée, tandis que ce même envahissement est toujours rapide lorsqu'elles sont plongées dans l'eau non aérée. Ainsi, les feuilles plongées dans l'eau non aérée ont une double cause de suspension de leur respiration : elles ne peuvent plus produire d'oxygène sous l'influence de la lumière, celui qui existait dans leurs organes pneumatiques leur est enlevé, et de plus, leurs organes pneumatiques sont remplis d'eau.

Il est encore un autre cas dans lequel les feuilles submergées cessent d'émettre de l'oxygène; c'est lorsque leur position naturelle est renversée, de manière à présenter leur face inférieure à la lumière. Je me suis assuré de ce fait important par l'expérience suivante : J'ai mis dans un bocal plein d'eau une feuille de *nymphea alba*, en ayant soin de maintenir sa face supérieure appliquée sur la paroi intérieure du bocal. Cette face supérieure de la feuille ainsi disposée fut dirigée vers la lumière diffuse qui arrivait de la fenêtre de l'appartement. Sous l'influence de cette lumière, la feuille émit par son pétiole du gaz oxygène, et n'en émit point du tout par son limbe, ainsi que je l'avais déjà constaté. Cette émission cessa cependant la nuit, et recommença le lendemain matin. La voyant bien établie vers le milieu du jour, et telle, qu'il sortait de la section du pétiole vingt-quatre bulles d'air par minute, je retournai le bocal, en sorte que la face supérieure de la feuille étant tournée vers le fond de l'appartement, c'était sa face inférieure qui recevait alors l'influence de la lumière; afin de soustraire tout à fait la face supérieure à cette influence, je couvris avec une étoffe noire la paroi extérieure du bocal, à laquelle correspondait cette face supérieure de la feuille. Au bout d'un quart d'heure, l'émission d'oxygène, qui, avant le retournement de la feuille, était de vingt-quatre bulles par minute, fut réduit à dix bulles, et cela continua à peu près de la même manière pendant le reste du jour. L'émission d'oxygène cessa, comme à l'ordinaire, pendant la nuit, et je la vis recommencer le lendemain matin, mais elle se *montra* très-affaiblie pendant tout le jour; la plus grande émission d'oxygène n'alla qu'à cinq ou six bulles par minute. Le troisième jour après le retournement de la feuille, le maximum de l'émission d'oxygène n'alla qu'à deux bulles par minute; enfin, cette émission d'oxygène fut complétement suspendue le quatrième jour. C'était pendant les jours chauds de l'été que je faisais cette expérience. Je laissai cette feuille, qui n'émettait plus d'oxygène dans la même position pendant six jours encore, et pendant tout ce temps il n'y eut pas la moindre émission d'air. Le septième jour depuis la cessation de cette émission, je remis la feuille dans sa position première, c'est-à-dire sa face supérieure dirigée vers la lumière. Dans ce jour et dans les deux suivants, il n'y eut aucune émission d'oxygène; cette émission se manifesta, mais faiblement, dans le courant du quatrième jour après le retour de la feuille à sa position naturelle, et elle continua en augmentant graduellement de quantité pendant les jours suivants. Il résulte de cette expérience que, lorsque les feuilles sont retournées et présentent ainsi leur face inférieure à la lumière, elles diminuent peu à peu leur émission d'oxygène et finissent de la présenter au bout de quelques jours, et que ces mêmes feuilles, lorsque leur face supérieure est replacée dans sa position naturelle de direction vers la lumière, ne reprennent qu'après quelques jours leur faculté de produire et d'émettre de l'oxygène sous l'influence de

la lumière. Tout le monde sait que les feuilles, lorsqu'elles sont retournées, tendent, par une action spontanée, à ramener leur face supérieure vers la lumière, et qu'elles meurent lorsqu'on les empêche d'effectuer ce retournement. Je ferai voir, dans un autre Mémoire [1], quel est le mécanisme au moyen duquel s'opère le retournement des feuilles. Je me borne ici à déduire de l'expérience précédente ce résultat, que la mort des feuilles maintenues dans l'état de retournement, est le résultat de la suppression de leur respiration par absence de la production d'oxygène, production qui n'a lieu d'une manière durable chez elles, que lorsque c'est leur face supérieure qui reçoit l'influence directe de la lumière. Ainsi, une feuille retournée meurt *asphyxiée*. Lorsqu'elle n'a été retournée que pendant un temps dont la durée est insuffisante pour occasionner la mort, elle se trouve seulement dans un état d'altération ou de *maladie*, qui fait qu'elle ne récupère l'exercice de ses fonctions que quelques jours après qu'elle a été rendue à sa position naturelle.

Pourquoi les feuilles cessent-elles ainsi de produire de l'oxygène sous l'influence de la lumière, lorsqu'elles présentent à cette dernière leur face qui porte les cellules pneumatiques? L'expérience n'a encore rien appris à cet égard. Je me contenterai donc de noter ici ce fait général, que toujours l'oxygène produit par l'action de la lumière sur les parties vertes, se dégage à la partie opposée à celle qui est directement frappée par la lumière, en sorte que la lumière semble exercer ici une action *impulsive* ou peut-être *répulsive* sur l'oxygène qu'elle dégage. Peut-être la matière verte du parenchyme de la feuille a-t-elle, dans ses molécules, un mode de disposition tel, qu'elle ne puisse être apte à la production de l'oxygène avec le concours de l'acide carbonique, que lorsqu'elle est frappée par la lumière dans une direction déterminée. Le fait est que les feuilles tendent toujours à diriger vers la lumière celle de leurs faces qui ne porte point les cellules pneumatiques, en sorte que c'est quelquefois la face inférieure de la feuille qui est dirigée dans ce sens, ainsi que cela a lieu chez les feuilles *ramules* du *ruscus aculeatus* et chez beaucoup de graminées. Chez les plantes qui, comme les alliacées, ont des feuilles tubuleuses, l'oxygène est produit par l'influence de la lumière sur toute l'étendue de leur surface, et ce gaz semblant toujours marcher sous l'*impulsion* ou la *répulsion* de la lumière, est versé dans la cavité centrale de la feuille tubuleuse, cavité qui est son réservoir d'air respirable. Je n'ai point, il est vrai, vérifié ce fait par l'expérience, par rapport aux feuilles tubuleuses, mais sa preuve se trouve par analogie dans l'expérience par laquelle M. Théodore de Saussure a vu que des gousses de pois plongées dans l'eau au soleil, contenaient de l'air composé de trente parties d'oxygène, soixante-neuf parties d'azote et une partie d'acide carbonique; tandis que des gousses semblables, cueillies sur la plante dans l'air atmosphérique, ne contenaient dans leur intérieur qu'un air peu différent par ses proportions d'oxygène et d'azote de celles qui existent dans l'atmosphère; on conçoit facilement la cause de cette différence. L'air contenu dans les cavités pneumatiques des végétaux, tend à se mettre promptement en similitude de composition avec l'atmosphère environnante, en sorte que s'il possède momentanément un excès d'oxygène, il ne tarde pas à le livrer à l'atmosphère qui lui donne de l'azote en échange. Il n'en est pas de même pour les plantes plongées dans l'eau : l'oxygène en excès, qui est versé dans leurs cavités pneumatiques, ne peut être dissous que fort lentement par l'eau ambiante, laquelle ne peut en outre lui livrer en échange que fort peu d'azote, parce que l'air dissous dans l'eau n'en contient qu'une petite proportion, tandis qu'il contient beaucoup d'oxygène. On voit ainsi pourquoi les plantes submergées

[1] De la tendance des végétaux à se diriger vers la lumière, et de leur tendance à la fuir.

possèdent plus d'oxygène dans leurs cavités pneumatiques que n'en possèdent les plantes situées dans l'atmosphère. Toutefois, cette expérience de M. Théodore de Saussure prouve ce que j'ai avancé, touchant l'introduction de l'oxygène dans les cavités centrales des feuilles tubuleuses soumises à l'influence de la lumière.

D'après ce qui vient d'être exposé, les fonctions des stomates ne sont plus douteuses; ce sont les ouvertures des organes respiratoires des plantes. Pendant le jour ces ouvertures servent à l'expulsion de l'oxygène mêlé d'azote, qui existait dans les organes pneumatiques et que l'afflux continuel de l'oxygène, dégagé sous l'influence de la lumière, expulse de ces organes. Pendant la nuit les stomates servent à l'introduction de l'oxygène dans les organes pneumatiques, pour remplacer celui que l'action respiratoire fait sans cesse disparaître. Ceci n'est point une hypothèse, car c'est une nécessité physique. En effet, les organes pneumatiques venant promptement à ne plus contenir qu'un air plus pauvre en oxygène que ne l'est l'air atmosphérique ambiant, et communiquant librement avec ce dernier par les ouvertures des stomates, il en résulte qu'il s'établit entre l'air atmosphérique et l'air vicié que contiennent les organes pneumatiques, un échange de leurs gaz composants. Ainsi, pendant la nuit, l'air vicié des organes pneumatiques livre à l'air atmosphérique son excès d'acide carbonique et d'azote; l'air atmosphérique en retour tend à introduire dans l'air des organes pneumatiques tout ce qui lui manque d'oxygène pour l'égaler lui-même en pureté; l'existence de ces échanges d'éléments constituants entre les gaz différents, est mise hors de doute par les expériences de Dalton, et j'ai fait voir, dans mon Mémoire *sur le mécanisme de la respiration des insectes*, que c'est également de cette manière que l'oxygène s'introduit dans les trachées de ces animaux pour renouveler l'air qu'elles contiennent et qui est altéré par la respiration.

Toutes les expériences qui viennent d'être exposées ont été faites par une température supérieure à + 15 degrés R., ou environ 19 degrés centésimaux. Lorsque la température est devenue inférieure à ce degré, les plantes qui ont servi à mes expériences ont cessé de dégager de l'oxygène, sous l'eau, à la lumière diffuse de l'appartement dans lequel elles étaient placées; cela ne prouve pas qu'elles ne fabriquaient plus d'oxygène, mais seulement qu'elles n'en fabriquaient plus au delà de leurs besoins et de manière à en verser au dehors. Effectivement, je les ai conservées encore longtemps vivantes, ce qui prouve que leur respiration n'était point abolie.

Il résulte de ces expériences que l'oxygène dégagé du tissu des feuilles, par l'influence de la lumière, est versé de premier abord dans les cavités pneumatiques de la feuille, et qu'en raison de la pression à laquelle il y est soumis, par son afflux continuel, il est refoulé dans les canaux pneumatiques des pétioles et de la tige, canaux qui doivent en outre l'attirer fortement en vertu de leur capillarité et même le condenser. L'oxygène que ne peuvent recevoir ou absorber ces canaux est rejeté au dehors par les ouvertures des stomates, en sorte que la plante ne rejette au dehors de l'oxygène qu'elle produit abondamment que ce qui excède ses besoins physiologiques, c'est-à-dire qu'elle n'en verse au dehors que lorsque les organes pneumatiques ou *respiratoires* en sont remplis, autant toutefois que peut le permettre le gaz azote qui en occupe déjà une partie. En effet l'air extrait des plantes par la pompe pneumatique est toujours plus riche en azote et plus pauvre en oxygène que ne l'est l'air atmosphérique; or, cependant, l'expérience démontre que, pendant le jour, les feuilles versent abondamment de l'oxygène dans toutes les cavités pneumatiques de la plante; d'un autre côté, on sait que les gaz différents par leur nature ou par les proportions de leurs mélanges, tendent naturellement à se mêler en proportions égales lorsqu'ils sont en communication même par d'étroites ouvertures, même lorsqu'ils sont

séparés par des membranes organiques [1]. Si donc les organes pneumatiques des feuilles se trouvent momentanément remplis d'oxygène pur ou presque pur pendant le jour, cet air intérieur ne peut tarder à se mettre en similitude de composition avec l'air atmosphérique auquel il livrera de l'oxygène en lui empruntant du gaz azote. Ceci est une nécessité physique; ainsi, d'après le fait observé de l'introduction du gaz oxygène produit par les feuilles, dans leurs cavités pneumatiques, et d'après les lois qui président au mélange des gaz, il devient évident que les organes pneumatiques des plantes devraient contenir ou bien de l'air riche en oxygène ou tout au moins un mélange d'oxygène et d'azote pareil à celui qui existe dans l'air atmosphérique. Or, l'expérience démontre que l'air extrait des organes pneumatiques des plantes est ordinairement un mélange variable d'oxygène et d'azote dans lequel l'oxygène est en moindre proportion que dans l'air atmosphérique; donc la plante s'est assimilé une partie de l'oxygène que contenaient ses organes pneumatiques. Cette *assimilation* de l'oxygène aux plantes est d'ailleurs directement prouvée par les expériences de M. Th. de Saussure, qui a fait voir qu'une partie de l'oxygène produit par les plantes, au moyen de la décomposition de l'acide carbonique, disparaissait et se fixait dans leur tissu par *assimilation*. Il ne peut donc plus exister de doutes sur l'usage de l'oxygène que les parties vertes des végétaux produisent sous l'influence de la lumière; il est destiné à la respiration de la plante qui le produit.

Il résulte de ces faits que les plantes respirent comme les insectes, c'est-à-dire en introduisant dans leurs organes pneumatiques, qui se distribuent à toutes leurs parties, de l'oxygène dont l'assimilation subséquente constitue leur *respiration;* mais il y a cette différence entre les végétaux et les animaux, que ceux-ci puisent leur oxygène respiratoire exclusivement dans le milieu qui les environne, tandis que les végétaux verts fabriquent pendant le jour cet oxygène respiratoire; et comme ils en fabriquent au delà de leurs besoins, ils en versent l'excès dans l'atmosphère. Durant la nuit, ces mêmes végétaux absorbent comme les animaux l'oxygène atmosphérique; c'est là le *mode subsidiaire* de leur respiration, mode imparfait de respiration, lequel, à lui seul, ne peut suffire longtemps à l'entretien de leur vie. Le *mode normal* de la respiration des végétaux verts consiste dans la production de l'oxygène sous l'influence de la lumière, et dans son introduction dans les organes pneumatiques. C'est ce *mode normal* de la respiration végétale qui, seul, est apte à entretenir la vie des végétaux verts. Lorsqu'il est interrompu, l'*asphyxie* arrive plus ou moins promptement. Le retard de cette asphyxie est, en raison de l'aptitude plus ou moins grande qu'ont les végétaux verts à vivre au moyen du *mode subsidiaire* de leur respiration, c'est-à-dire en absorbant l'oxygène atmosphérique. C'est ce qui a lieu lorsqu'ils sont placés dans l'obscurité. Alors leur vie, toujours alors fort courte, dure cependant plus ou moins selon l'espèce de la plante, ainsi que je le fais voir dans mes *Recherches sur les conduits de la séve et sur les causes de sa progression*. On y verra que l'abolition de la respiration dans l'obscurité abolit dans les feuilles la puissance au moyen de laquelle elles attirent la séve lymphatique et lui impriment un mouvement d'ascension, en sorte qu'elles meurent en peu de temps et d'autant plus promptement, que la température est plus élevée. On verra dans mon Mémoire sur l'*excitabilité végétale,* qu'en mettant une sensitive (*mimosa pudica*) dans le vide de la pompe pneumatique, ou bien en la privant de respiration au moyen de l'obscurité, on lui fait perdre son *excitabilité,* nécessairement liée à l'existence de l'oxygène respiratoire dans ses organes pneumatiques. On verra dans mes *Recherches sur le sommeil et le réveil des plantes*, que ces phénomènes alternatifs dépendent également de l'action de l'oxygène respiratoire

[1] Voyez à ce sujet mon Mémoire sur la respiration des insectes.

sur les plantes qui les offrent à l'observation. Les feuilles privées d'air respirable dans leurs organes pneumatiques, cessent de se diriger vers la lumière; celles qui ont la *nutation* cessent d'offrir ce phénomène. En un mot, il y a abolition complète de toute influence des agents extérieurs, et par suite de tout mouvement spontané exécuté à l'occasion de cette influence, lorsqu'il n'y a plus d'air respirable dans les organes pneumatiques des plantes; elles sont alors véritablement *asphyxiées*.

Les corolles ne respirent qu'au moyen de l'absorption de l'oxygène atmosphérique; car elles ne produisent point d'oxygène sous l'influence de la lumière. Ainsi, ce qui n'est qu'un *mode subsidiaire* de respiration pour les feuilles, est le *mode normal* de la respiration des fleurs.

La science ne peut encore déterminer pourquoi la matière verte est seule apte à produire de l'oxygène sous l'influence de la lumière, et avec le concours de l'acide carbonique; pourquoi les autres matières diversement colorées qui existent dans les corolles ne peuvent opérer le même phénomène; toutefois, cela nous révèle pourquoi la couleur verte est en quelque sorte l'*uniforme* des végétaux qui ont besoin pour vivre de l'influence de la lumière; c'est que l'existence de cette matière verte est nécessaire pour l'existence du seul mode de respiration qui puisse leur donner une existence prolongée. Il n'en est pas de même des corolles, involucres des organes éphémères de la fécondation, et qui devaient être éphémères comme eux; aussi la matière verte, principe du mode de respiration qui procure aux feuilles une longue existence, leur a-t-elle été assez généralement refusée; réduites à ne respirer qu'au moyen de l'absorption de l'oxygène atmosphérique, mode de respiration qui ne peut entretenir longtemps la vie végétale, les corolles meurent bientôt, et cela était nécessaire; car elles eussent absorbé en pure perte les sucs qui doivent servir au développement de la graine et de l'embryon qu'elle contient. Ce n'est point ainsi pour le charme de nos yeux, ce n'est point pour embellir la nature, pour lui donner de la *poésie*, comme le disent les hommes à imagination, que les fleurs ont reçu leurs couleurs si brillantes et si variées, qui contrastent si agréablement avec la couleur verte des feuilles, c'est tout simplement afin qu'elles n'eussent qu'une existence de courte durée. Toutes les plantes vertes dégagent de l'oxygène à la lumière, toutes par conséquent fabriquent leur oxygène respiratoire. Or, parmi les plantes cryptogames, il y en a beaucoup qui n'ont point de stomates. Les conferves, par exemple, dégagent beaucoup d'oxygène à la lumière; or, on ne leur connaît ni organes pneumatiques, *ni stomates*. Les mousses n'ont point de *stomates*, et cependant elles dégagent de l'oxygène à la lumière. L'analogie indique ici que l'oxygène n'est point fabriqué à la surface de ces plantes cryptogames dépourvues de stomates, mais qu'il sort de leur intérieur par des ouvertures inconnues. Ce sont là des sujets de recherches.

Par l'ensemble des preuves que j'ai exposées dans ce Mémoire, se trouvera définitivement établi ce fait neuf dans la physiologie, savoir : que la respiration est une fonction qui est essentiellement de la même nature chez les végétaux et chez les animaux, et qu'elle ne diffère chez ces deux classes d'êtres que par des phénomènes accessoires. On ne peut manquer même d'être frappé de la similitude qui existe entre la respiration des végétaux et celle des insectes. Chez les uns comme chez les autres, l'air respirable est distribué dans tous les organes par des canaux pneumatiques. Chez les insectes, ces canaux sont toujours des *trachées*, ou des canaux composés de fils spiraux; chez les végétaux, les canaux pneumatiques sont souvent aussi des *trachées*, tout à fait semblables à celles des insectes; mais souvent aussi ce sont des tubes membraneux, ou bien des agglomérats de cellules qui communiquent entre elles. Enfin, il n'est pas jusqu'à la forme des ouvertures extérieures des organes respiratoires, qui ne se ressemble quelquefois chez les insectes et chez les végétaux. L'ouverture des stomates, en effet, a souvent la forme d'une el-

lipse très-allongée, sorte de bouche munie de deux lèvres qui peuvent, à ce qu'il paraît, s'ouvrir et se fermer. Or, la forme des ouvertures trachéales des insectes est semblable, ainsi qu'on peut le voir par les figures qu'en a données Réaumur dans ses Mémoires, pour servir à l'histoire des insectes [1].

[1] Voyez tome 1, troisième Mém., pl. 4. fig. 15, 16 et 17.

VIII.

RECHERCHES

SUR LES CONDUITS DE LA SÉVE

ET SUR LES CAUSES DE SA PROGRESSION [1].

§ I. — *Des conduits de la séve.*

Le végétal, implanté dans le sol par ses racines, y puise de l'eau tenant en dissolution des matières terreuses et des substances organiques, qui résultent de la décomposition des matières végétales que contient le terreau. Cette eau est portée dans la tige par un mouvement ascensionnel, et parvient dans les feuilles et dans les autres organes terminaux des tiges. Là, cette *séve lymphatique* éprouve une élaboration particulière. Une partie est rejetée au dehors par l'évaporation, l'autre partie, devenue *séve élaborée,* retourne des feuilles dans le corps de la tige, et l'on admet généralement qu'elle descend jusque dans les racines, en sorte qu'il y aurait chez les plantes une circulation des fluides analogue à celle qui existe chez les animaux; la *séve lymphatique* monte et la *séve élaborée* descend. Je vais examiner les faits sur lesquels est fondée cette opinion, et tenter de déterminer quels sont les conduits qui transmettent la séve dans l'intérieur du végétal.

Une opinion assez généralement admise parmi les physiologistes, établit que la séve monte par le corps ligneux ou par *le système central,* et qu'elle descend par l'écorce ou par le système cortical. L'ascension de la séve par le corps ligneux du système central, est prouvée depuis longtemps par les expériences de plusieurs physiciens, et notamment par celles de Sarrabat [2] et de Bonnet [3], qui ont fait voir que les liquides colorés que l'on donne à pomper à une branche coupée, ne montent ni par l'écorce, ni par la moelle, et que leur ascension s'opère exclusivement par les *fibres ligneuses*. Duhamel [4] a fait les mêmes expériences et a obtenu les mêmes résultats. Ce moyen de reconnaître la route de la séve ascendante est infidèle jusqu'à un certain point; car les infusions colorées s'introduisent, par l'action de la capillarité, dans des tubes tels que les trachées, qui, dans

[1] Une grande partie de ce Mémoire a été publiée en 1826; j'en ai entièrement changé ici la rédaction, et j'y ai ajouté des observations nouvelles.

[2] Dissertation sur la circulation de la séve, sous le faux nom de *Labaisse*, 1733.

[3] Recherches sur l'usage des feuilles, 5e mém.

[4] Physique des arbres.

l'état naturel, ne contiennent que de l'air. Toutefois, ce moyen est excellent pour faire voir quelles sont les parties dans lesquelles la séve lymphatique ascendante ne s'introduit point; l'écorce et la moelle sont de ce nombre; il ne reste donc, pour la marche de cette séve ascendante, que la partie ligneuse du système central. Il suffit que la plus petite partie de ce tissu ligneux-fibreux subsiste comme moyen de communication entre la partie inférieure et la partie supérieure d'une tige ou d'une branche, pour que la séve ascendante soit transmise de l'une à l'autre; elle ne se transmet point, s'il n'y a que de l'écorce seulement comme moyen de communication entre ces deux parties divisées; la séve ne se transmet pas davantage, si ces deux parties ne tiennent plus l'une à l'autre que par la moelle. Il ne reste donc plus qu'à déterminer quels sont les canaux que suit la séve ascendante dans le corps ligneux. Prenons, pour exemple ou pour sujet d'étude, un végétal ligneux tel que la vigne. La partie ligneuse de ce végétal possède des trachées auprès de la moelle; dans le reste de son épaisseur elle est composée de gros tubes rayés ou *fausses trachées*, et de petits tubes fusiformes ou de *tubes fibreux*. Cet assemblage vasculaire est traversé horizontalement par les rayons médullaires, lesquels, composés de cellules articulées en séries longitudinales dans le sens transversal, doivent évidemment servir à la transmission transversale de la séve et point du tout à sa transmission verticale ou longitudinale. C'est en effet un résultat de l'observation, que le mouvement des fluides, chez les végétaux, suit dans sa direction celle des organes linéaires dont ils sont composés.

J'ai prouvé, après M. Amici, que les trachées sont des tubes pneumatiques; que, dans l'état naturel ils ne contiennent que de l'air et qu'il en est de même des gros *tubes rayés* ou des fausses trachées; il ne reste donc que les tubes fibreux qui, parmi les organes tubuleux du tissu ligneux, puissent être considérés comme les conduits affectés à la transmission de la séve ascendante. Cependant M. Kiezer [1] a admis que cette ascension s'opère par une voie toute différente. Les cellules et les tubes qui forment le tissu végétal par leur agrégation ne se touchent point par tous les points de leur surface; ces organes laissent ordinairement entre eux des espaces angulaires qui ont été nommés *canaux intercellulaires* par le docteur Tréviranus qui les a découverts. Suivant l'opinion de M. Kieser, ce serait exclusivement par ces *canaux* ou *méats intercellulaires* que s'opérerait la progression de la séve lymphatique; les tubes ne serviraient qu'à la respiration de la plante et à la préparation de la séve, mais point du tout à la progression de ce fluide. Ici je ferai observer que M. Kieser n'a connu que très-imparfaitement l'organisation de ce qu'il appelle la *formation vasculaire* chez les végétaux; il a très-bien vu la structure des grands tubes, mais il n'a pas distingué celle des petits tubes fibreux. La structure de ces derniers organes est éminemment appropriée à l'ascension des liquides. En effet, les tubes fibreux sont terminés des deux côtés en pointe très-aiguë et qui est tubuleuse, en sorte que leur capillarité, dans cet endroit, est excessive. La pointe du tube fibreux inférieur est articulée avec la pointe du tube fibreux supérieur, tantôt en biseau, tantôt par une jonction directe; le milieu de chaque tube fibreux offre une partie renflée dont la cavité sert de réservoir au liquide qui a été pompé par la capillarité de ses pointes. Je me suis assuré que ces pointes ont une ouverture libre par laquelle les cavités des deux tubes fibreux articulés, l'un avec l'autre, communiquent ensemble. Cette organisation des tubes fibreux est éminemment appropriée à l'ascension de la séve. J'ai admis autrefois que l'ascension de la séve s'opérait par les gros tubes que je nommais en conséquence *tubes lymphatiques*; aujourd'hui je reconnais que cette opinion doit être considérablement modifiée : voici

[1] Mémoire sur l'organisation des plantes.

les expériences sur lesquelles je l'avais établie.

On sait avec quelle abondance la séve coule, au commencement du printemps, des blessures faites au bois de la vigne. Une branche de cet arbuste étant coupée transversalement, on voit à l'œil nu les orifices des gros *tubes rayés* qui y sont très-nombreux ; or, c'est exclusivement de ces gros tubes que la séve paraît sortir. Pour faire commodément cette observation, il faut couper la branche en biseau et observer avec une loupe la surface de la section par laquelle s'écoule la séve, en l'essuyant à mesure qu'elle suinte, et cela lorsque cet écoulement est encore peu abondant; car lorsque la séve coule avec abondance, la rapidité de son écoulement après qu'on a essuyé la plaie ne permet pas d'observer quels sont les canaux desquels elle sort. Cependant il est un moyen indirect de s'en assurer. Une branche de vigne étant séparée du cep à l'époque où la séve coule abondamment, le tissu de cette branche demeure imbibé par le fluide séveux qui y est retenu par la capillarité. Or, si l'on ploie cette branche dans une partie de son étendue et qu'on examine en même temps à la loupe la surface de sa section, on verra la séve sortir des orifices des gros tubes et y rentrer rapidement lorsqu'on fait cesser la flexion de la branche : cette émission de la séve par les gros tubes n'a lieu, dans ce cas, qu'à la partie de la section qui correspond directement à la concavité de la courbure que l'on imprime à la branche, parce que ce n'est que là que cette courbure comprime les organes végétaux. Lorsque cette courbure cesse d'avoir lieu, les organes qui ont cessé d'être comprimés rétablissent leurs cavités capillaires, lesquelles pompent le liquide que la compression en avait fait sortir. Dans cette expérience, on ne voit point, et on ne peut voir en effet, si les faisceaux de tubes fibreux intercalés aux gros tubes émettent aussi de la séve; leurs ouvertures sont trop prodigieusement petites pour pouvoir être aperçues à la loupe. Ainsi le seul fait bien établi par cette observation, est que la séve qui coule au printemps des blessures faites au bois de la vigne, sort spécialement des gros tubes ou des *fausses trachées* qui sont très-abondantes dans le bois de cet arbuste. Un fait à remarquer dans cette expérience, est que la séve contenue dans la branche de vigne sort avec une égale facilité par la section de sa partie supérieure et par la section de sa partie inférieure, lorsqu'on la courbe dans une partie de son étendue ; ceci prouve que les tubes dans lesquels la séve est contenue n'ont point de valvules ou d'autres dispositions organiques qui favoriseraient le mouvement ascendant de la séve en s'opposant à son mouvement descendant. Cette expérience prouve *en outre* que la progression de la séve a lieu très-spécialement en ligne droite; *en sorte* que chaque côté de la tige a ses organes spéciaux de transmission, lesquels n'éprouvent ni interruption ni déviation dans les nœuds qui séparent les mérithalles. Cette transmission en droite ligne de la séve ascendante est prouvée d'une manière encore plus positive par l'expérience suivante. Au printemps, j'ai coupé transversalement une branche de vigne ou scion de l'année précédente; à l'instant la séve a coulé abondamment par la surface de la section. Alors j'ai fait à la tige une entaille qui pénétrait jusqu'à la moelle et qui était située à un pied environ au-dessous de l'extrémité tronquée; à l'instant la séve a cessé de couler par la partie de cette extrémité tronquée qui correspondait en droite ligne à l'entaille que j'avais pratiquée. Je fis une seconde entaille à un pouce au-dessous de la première, et correspondante à un autre côté de la tige; la séve cessa de même de couler par la partie de l'extrémité tronquée qui correspondait en droite ligne à cette seconde entaille. Ces deux entailles avaient coupé transversalement les deux tiers de l'épaisseur de la tige, et avaient par conséquent interrompu la continuité des deux tiers des tubes séveux ; je coupai transversalement le tiers restant au moyen d'une troisième entaille faite à un pouce au-dessous de la dernière; à l'instant toute émission de séve cessa d'avoir lieu par l'extrémité tronquée de la branche. Cette

expérience prouve d'une manière très-évidente la progression en ligne droite de la séve ascendante, ce qui n'empêche pas qu'il n'y ait aussi un mouvement de progression oblique ou latérale ; mais ce dernier mouvement est beaucoup plus lent et moins facile que le mouvement en ligne droite, et ce dernier est le seul dont on observe les effets dans l'expérience que je viens de citer. On sait depuis longtemps que des entailles faites au tronc d'un arbre de manière à couper tous les tubes longitudinaux n'interceptent point l'ascension de la séve, et que dans cette circonstance l'arbre continue de végéter ; alors la séve a perdu son mouvement de transmission en droite ligne ; elle a conservé seulement son mouvement plus lent de transmission latérale, ou son mouvement de *diffusion générale*.

Ce n'est qu'au commencement du printemps que les gros tubes de la vigne contiennent de la séve ; plus tard, ce liquide ne se retrouve plus dans leur intérieur ; ils ne contiennent plus alors que de l'air. Cependant, durant tout le cours de l'été, la séve monte très-abondamment pour servir à l'accroissement du végétal et pour réparer l'énorme déperdition qu'il éprouve par la transpiration. Comment se fait-il donc que les gros tubes ne contiennent plus de séve? c'est que leur fonction spéciale n'est point effectivement de conduire ce liquide, qu'ils ne contiennent que d'une manière accidentelle au commencement du printemps. Ils sont tous essentiellement destinés à contenir de l'air ; ce sont réellement des *tubes pneumatiques*, et lorsqu'ils ne sont pas remplis d'air mais d'eau, cela provient de l'absence des causes qui introduisent l'air élastique dans le tissu végétal. J'ai démontré que ce sont les feuilles qui introduisent l'air dans les tubes pneumatiques ; or, quand les feuilles sont absentes depuis longtemps, comme cela a lieu pendant l'hiver et au commencement du printemps, les tubes pneumatiques ne recevant plus d'air, leur cavité se remplit d'eau. Lorsque les feuilles sont développées, l'air qu'elles introduisent dans les tubes pneumatiques chasse l'eau qu'ils contiennent ; et ces tubes se trouvent ainsi rendus à leurs fonctions naturelles. Ce ne sont donc point ces tubes qui sont les *conduits naturels* de la séve ascendante, ils n'en sont que les *conduits accidentels*, et seulement au commencement du printemps. Il ne reste donc plus que les tubes fibreux auxquels on puisse attribuer chez la vigne la fonction d'être dans tous les temps les conduits de la séve ascendante ; car dans le tissu ligneux, il n'existe véritablement point de *méats intervasculaires* ou *intercellulaires* auxquels on puisse, avec M. Kieser, attribuer cette fonction. Les tubes qui composent le tissu ligneux, sont en effet appliqués les uns contre les autres d'une manière tellement intime, qu'ils ne laissent entre eux aucun espace angulaire apercevable avec les meilleurs microscopes. C· sont donc bien certainement les *tubes fibreux* qui conduisent la séve lymphatique ascendante. Cette fonction ne leur appartient ordinairement que dans leur *jeunesse*, c'est-à-dire lorsqu'il n'y a pas longtemps que le tissu ligneux composé par ces organes est produit et se trouve par conséquent encore à l'état d'*aubier*. Alors les tubes fibreux ont une cavité libre et facilement perméable. Dans le *duramen*, les tubes fibreux se trouvent remplis par une substance concrétée et endurcie, qui remplit et obstrue leur cavité ; alors ils ne sont plus aptes à conduire la séve. J'avais autrefois annoncé, d'après une expérience trompeuse, que le *duramen* ou *bois de cœur* du chêne était apte à transmettre la séve ascendante ; mais j'ai éprouvé, dans cette circonstance, combien il y a d'inconvénients à déduire des conséquences d'une seule observation. J'avais fait faire, pendant l'hiver, une entaille circulaire au pied d'un chêne, et cela de manière à couper la totalité de l'aubier. L'arbre se couvrit de feuilles au printemps, et il continua de demeurer vivant pendant toute l'année. J'en conclus que le duramen de cet arbre était apte à servir de conduit à la séve ascendante. M. Knight me témoigna des doutes sur la validité de cette observation, et lorsque je le visitai en Angleterre, dans l'année 1827,

nous répétâmes ensemble cette expérience sur un des chênes de son parc de Downton. L'arbre au pied duquel on fit une entaille circulaire, qui pénétrait jusqu'au duramen, ne tarda pas à présenter le dessèchement de toutes ses feuilles, et il mourut. Depuis, j'ai répété de mon côté cette expérience une troisième fois, et cela au mois de mars, avant le développement des feuilles; aucun bourgeon ne s'est développé; ainsi, il m'est bien démontré par ces deux dernières observations, que le duramen du chêne ne conduit point du tout la séve ascendante. A quoi faut-il donc attribuer le résultat contraire que j'avais obtenu dans ma première expérience? Voici la cause probable de ce fait exceptionnel : j'ai fait voir, en traitant de l'accroissement des végétaux en diamètre, qu'il arrive quelquefois, dans le chêne, que des portions d'aubier non transformées en duramen, restent intercalées dans ce dernier. Cette disposition organique particulière avait probablement lieu chez le chêne qui a servi à ma première expérience. C'étaient ces portions d'aubier contenues dans le duramen, qui continuaient à transmettre la séve ascendante après l'ablation de tout l'aubier extérieur. Les observations suivantes ne laisseront point de doutes sur l'aptitude que possède toujours le tissu d'aubier à transmettre la séve ascendante, et cela indépendamment de la position de ce tissu ligneux non converti en duramen. Les arbres à bois blanc qui ne possèdent point de duramen, transmettent la séve ascendante aussi bien par la partie centrale de leur bois que par sa partie extérieure. On peut s'assurer de ce fait au moyen d'une observation qui ne laisse aucune chance à l'erreur. Beaucoup d'arbres versent de la séve au printemps, comme la vigne, par la surface tronquée de leurs tiges, et bien que cet écoulement de la séve ascendante ne soit pas toujours très-abondant, il est cependant très-facile à voir. Un arbre susceptible de présenter cet écoulement de la séve ascendante étant abattu au commencement du printemps, lorsque la séve commence à monter, on voit cette séve suinter plus ou moins abondamment de la surface du tissu ligneux de la souche, et seulement des endroits de cette surface où existe le tissu ligneux qui est apte à la transmission de cette séve ascendante. Chez les arbres qui n'ont point de duramen, la séve ascendante sort également par toute la surface de la section transversale de la souche; c'est ce que l'on voit clairement chez les peupliers, le bouleau, le charme, l'érable, le hêtre, etc. Chez les arbres qui ont un duramen, la séve ascendante ne sort que par la surface de l'aubier sur la section transversale de la souche; la surface du duramen demeure complétement sèche; c'est ce qui est facile à voir chez le *chêne*, le pommier et le merisier. Il est donc bien certain que la progression de la séve ascendante ne peut avoir lieu qu'au travers du tissu ligneux qui possède les qualités de l'aubier, c'est-à-dire dont les tubes fibreux ne sont point remplis par une matière devenue solide; du moment que le tissu ligneux est devenu duramen, il n'est plus apte à servir à la progression de la séve. Lors donc que des portions de tissu d'aubier ou de duramen imparfait restent intercalées au duramen parfait, elles doivent transmettre la séve ascendante; cette dernière monte également par toutes les parties du bois, lorsqu'il n'existe point du tout de duramen. L'ascension de la séve par la partie centrale du bois du peuplier avait déjà été prouvée par une expérience de Coulomb [1]. Ce physicien, ayant fait percer avec une tarière le tronc de plusieurs gros peupliers, observa que la séve ascendante sortait avec abondance, au printemps, de la partie centrale de l'arbre, et que sa sortie était accompagnée d'un bruissement continuel occasionné par un dégagement d'air. Ce fut à tort que Coulomb conclut de cette expérience, que la séve ascendante monte spécialement par le centre de l'arbre; elle monte, il est vrai, par ce centre, mais non avec plus d'abondance que par les couches les plus extérieures du bois; en outre, ce phénomène

[1] Journal de physique, tome XLIX, page 392.

n'appartient, comme je viens de le dire, qu'aux arbres dépourvus de duramen. J'ai observé que, dans les tiges de vigne tronquées au printemps, la séve ascendante s'écoule par la partie la plus extérieure du bois, avant que la partie centrale présente aucun suintement. Ce fait prouve que c'est par l'aubier le plus jeune, que la séve lymphatique ascendante monte avec le plus de facilité.

Le fait de la transmission exclusive de la séve lymphatique ascendante par l'aubier me rend raison d'un fait que j'ai observé. Les arbres dont l'aubier est épais vivent pendant plusieurs années, malgré la décortication annulaire pratiquée à leur tronc; ceux dont l'aubier est extrêmement mince meurent ordinairement dans l'année même où cette décortication annulaire est pratiquée; chez le *rhus typhinum*, par exemple, la couche nouvelle d'aubier examinée en automne se trouve déjà changée en duramen dans sa moitié interne : c'est donc seulement par la moitié externe de son épaisseur qu'elle transmettra la séve ascendante au printemps suivant. Or, si à cette époque on pratique au tronc de l'arbre une décortication annulaire, l'arbre meurt presque immédiatement. Cela provient de ce que l'aubier dénudé et qui est très-mince, se dessèche promptement par l'action de l'air. Alors, il n'existe plus aucune voie pour la transmission de la séve lymphatique ascendante, puisque le duramen est impropre à servir de voie à cette ascension. Chez les arbres dont l'aubier est épais, la couche extérieure se dessèche seule lors de la décortication annulaire, et les couches sous-jacentes d'aubier continuent de vivre et d'être propres à servir à la transmission de la séve pendant un temps souvent très-long.

Il résulte de toutes ces observations, que la séve lymphatique ascendante monte par toutes les parties du tissu ligneux qui ne sont point converties en duramen; c'est-à-dire par toutes les parties de ce tissu ligneux dans lesquelles les tubes fibreux n'ont point leur cavité remplie par les sucs concrétés, dont l'existence constitue l'état de duramen. Puisque c'est exclusivement par les parties du tissu ligneux où les tubes fibreux ont conservé leur cavité libre ou non obstruée, que s'opère l'ascension de la séve lymphatique, il n'est plus permis de douter que ce ne soit par ces tubes fibreux eux-mêmes que s'opère cette ascension et non par leurs prétendus *méats intercellulaires*, que l'on n'aperçoit point et qui n'existent véritablement que dans le tissu cellulaire proprement dit. Or, on sait que le tissu cellulaire, chez lequel les *méats intercellulaires* sont si nombreux et si apparents, ne conduit point du tout la séve lymphatique ascendante. Ce fait décisif prouve que ce n'est point par les *méats intercellulaires* que s'élève la séve lymphatique. Tout concourt donc à prouver que c'est par les tubes fibreux de l'aubier que cette séve opère exclusivement son ascension. La formation dans ces tubes fibreux du suc concrété, qui constitue l'état de *duramen*, prouve, il est vrai, que ces tubes ne servent pas seulement à l'ascension de la séve lymphatique, mais que la séve élaborée pénètre aussi dans leur intérieur; ce dernier fait résulte effectivement des expériences de M. Knight, lesquelles seront exposées plus bas.

La séve lymphatique, dans son mouvement ascendant, aboutit définitivement aux feuilles, aux fleurs et aux fruits; une grande partie de ce liquide est portée au dehors par la transpiration; l'autre partie subit dans les feuilles une élaboration qui la change en séve nourricière. Cette élaboration est le résultat de l'action de la lumière, de l'oxygène et de l'acide carbonique de l'atmosphère. La séve nourricière, étant ainsi élaborée dans la partie supérieure du végétal, doit par cela même avoir un mouvement de progression descendante, pour se distribuer à toutes les autres parties et notamment aux racines.

Les physiologistes admettent assez généralement que la séve élaborée descend exclusivement par l'écorce; cependant, M. Knight a publié, il y a déjà près de 25 ans, des expériences qui prouvent qu'elle descend aussi par l'aubier ou par

le tissu ligneux du système central [1]. Ce physiologiste, supposant, avec juste raison, que les tubercules du *solanum tuberosum* étaient nourris par la séve élaborée qui descend de la tige, supprima, chez une variété hâtive de ce végétal, toutes les tiges souterraines qu'il nomme *coureurs* (*runners*). Car il avait remarqué le premier que les tubercules de cette plante ne sont point produits par le développement des racines, mais bien par le développement de ces *coureurs*. De cette manière, la production des tubercules étant empêchée, la tige aérienne du végétal devait être plus riche en séve élaborée; effectivement, cette plante produisit des fleurs auxquelles succédèrent des fruits, ce qui n'arrivait point ordinairement à cette variété hâtive dont presque toute la séve nourricière était employée au développement précoce des tubercules; en même temps, il se développa de petits tubercules sur plusieurs des parties aériennes de la plante.

La production inaccoutumée des fruits et la production pour ainsi dire *monstrueuse* des tubercules aériens, attestaient ici l'abondance excessive de la séve élaborée dans la partie aérienne du végétal. Cette abondance provenait évidemment de ce que la séve nourricière n'était point employée, comme à l'ordinaire, au développement de tubercules souterrains. Cette première expérience prouva donc à M. Knight, que les tubercules souterrains, lorsqu'ils existent, se développent au moyen de la séve élaborée. Alors, il entreprit d'expérimenter quel serait l'effet de la décortication annulaire de la tige sur le développement de ces tubercules. Si la séve élaborée descendait exclusivement par l'écorce, les tubercules ne devaient point se développer postérieurement à l'enlèvement circulaire de l'écorce au pied de la tige. Il pratiqua donc cette opération sur une tige, et il observa que les tubercules qu'elle nourrissait, subirent un peu de développement, mais bien moins que si la tige n'eût pas été privée d'un anneau d'écorce. M. Knight conclut, de cette expérience, que l'écorce est effectivement la voie par laquelle la séve élaborée descend vers les parties souterraines de la plante; mais que, cependant, l'aubier sert aussi à cette transmission, et cela d'une manière accidentelle et par une action *intervertie* de ses organes, lesquels ne sont destinés naturellement qu'à servir de voies à la séve ascendante. Cette *action intervertie* n'aurait lieu, selon ce savant, que *lorsque cela est nécessaire pour la conservation de la plante*.

M. Knight a obtenu de même la production de tubercules aériens sur des tiges de *solanum tuberosum* en coupant en partie les tiges de ce végétal près de la terre, de manière à ne laisser de communication de la tige avec les racines qu'au moyen d'une très-petite quantité de tissu d'aubier revêtue de son écorce.

Je ne connaissais point encore ces expériences de M. Knight. Lorsque j'en fis de semblables, qui me donnèrent les mêmes résultats, mon but était de reconnaître les effets de la décortication annulaire sur les végétaux herbacés; parmi ceux de ces végétaux que je soumis à cette opération, se trouvèrent plusieurs tiges de *solanum tuberosum*; quelques-unes de ces tiges se couvrirent, surtout à leur partie inférieure, de tubercules aériens engendrés par un développement tuberculeux des bourgeons ou des jeunes branches issues des aisselles des feuilles. Ces tubercules aériens étaient généralement assez petits; les plus gros n'excédaient pas la grosseur d'une noix, la plus grande partie n'avait que la grosseur d'un pois; ils étaient de couleur rose ou violette; leur sommet était couronné de petites feuilles et leur base tenait à la tige par une sorte de pédoncule semblable à celui d'un fruit. Toutes les tiges décortiquées n'avaient point produit de tubercules aériens; je recherchai à quoi tenait l'exception que présentaient, à cet égard, plusieurs d'entre elles, et je vis que la production des tubercules aériens n'avait

[1] On the idverted action of the albornous vessels of trees.

lieu que chez les tiges dont le système central avait été assez profondément altéré ou frappé de mort au-dessous de la décortication annulaire. Celles de ces tiges qui, dans cet endroit, avaient conservé leur système central en bon état, n'avaient point de tubercules aériens; l'absence de ces tubercules et en même temps le développement considérable des tubercules souterrains me fit voir que, chez ces dernières tiges, la séve élaborée descendante n'éprouvait point un obstacle suffisant à sa transmission par le fait de la décortication annulaire, pour que cette séve fût accumulée dans la partie aérienne du végétal. Le système central volumineux et peu altéré offrait donc à cette séve une voie libre et suffisante pour sa transmission; il n'en était pas de même des tiges dont une assez grande partie du système central avait été frappée de mort à l'endroit de la décortication annulaire. La petite partie du système central, qui était demeurée vivante, étant insuffisante pour la facile transmission de la séve élaborée aux parties souterraines du végétal, cette séve s'était accumulée dans la partie aérienne de la plante et avait donné lieu à l'excès de nutrition qui avait produit les tubercules aériens; aussi les tubercules souterrains de ces tiges étaient-ils très-peu développés. Lorsque je n'ai laissé subsister de communication, entre la partie aérienne et la partie souterraine de la plante, qu'au moyen d'une très-petite portion du système central, j'ai constamment obtenu la production de tubercules aériens. En reproduisant ainsi par l'expérience ce que le hasard avait d'abord produit, j'ai confirmé, d'une manière irréfragable, les inductions que j'avais tirées de ces observations. Lorsque la petite portion de système central qui établissait la communication de la partie aérienne avec la partie souterraine de la plante demeurait revêtue de son écorce, je n'ai jamais vu de production de tubercules aériens. Ce fait prouve que lorsque les deux systèmes cortical et central existent, même à l'état d'une assez grande exiguïté, leur ensemble livre à la séve élaborée descendante un passage suffisamment facile pour empêcher son accumulation dans la partie aérienne de la plante. Il est donc certain que la descente de la séve élaborée de la partie supérieure ou aérienne du végétal vers sa partie inférieure ou souterraine, s'opère principalement par l'écorce, et s'opère en partie par l'aubier; le mouvement descendant de la séve élaborée existe seul dans l'écorce où il s'effectue probablement par les tubes fibreux et par les méats intercellulaires à la fois; le mouvement descendant de la séve élaborée dans l'aubier a lieu probablement au moyen d'une diffusion générale; c'est principalement à la jonction du système central avec le système cortical, c'est-à-dire dans les *méats intersticiels* des cellules et des tubes fibreux qui sont *naissants* dans cet endroit, que se trouve épanchée en abondance la séve élaborée, rendue très-fluide par son mélange avec la séve lymphatique. On voit, par la formation des bourrelets reproducteurs, spécialement à la partie supérieure des décortications annulaires, que cette séve élaborée, *dont la position est intersticielle*, est véritablement descendante; il paraît probable que c'est le mouvement descendant de cette séve élaborée qui, en coulant dans les *méats intersticiels* des organes cellulaires et tubuleux naissants, donne à ces organes la direction qu'ils affectent; cette direction des grands tubes et des tubes fibreux est longitudinale dans l'état normal, parce que c'est dans cette direction qu'existe le courant de la séve élaborée descendante; mais lorsque la direction de ce courant se trouve changée, la direction des tubes change de même. Ainsi, lorsque la tige d'un jeune arbre est étroitement serrée par les spires d'un végétal ligneux grimpant, la séve descendante s'accumule au-dessus de cette ligature en spirale, et elle prend une marche descendante dans cette même direction, c'est-à-dire en spirale. Or, il est d'observation que, dans cette circonstance, les tubes qui composent le tissu ligneux prennent la même direction en spirale; ce fait ne permet pas de douter que la direction de ces tubes ne soit le résultat de la direc-

tion particulière du courant de la séve élaborée descendante. Ces organes filiformes sont dirigés en naissant, dans le sens du courant de la séve qui les environne, comme un fil flottant dans une eau courante en prend la direction. La marche, très-évidente ici, de la séve élaborée descendante dans des *méats intersticiels*, prouve qu'il ne faut point avoir d'opinion exclusive sur les routes que suit cette séve élaborée dont la diffusion doit véritablement être générale, puisque c'est elle qui nourrit toutes les parties; il n'en est pas moins vrai, toutefois, que cette séve élaborée coule, la plupart du temps, dans des tubes spécialement affectés à sa transmission.

La progression de la séve élaborée n'est pas toujours descendante. En effet, bien qu'il soit certain que la production de la séve élaborée ait lieu très-spécialement dans la partie aérienne du végétal, et soit alors par conséquent nécessairement descendante, il n'est cependant pas prouvé que les racines n'aient aussi la faculté d'élaborer de la séve, et cette séve élaborée par les racines serait alors ascendante. La fonction à laquelle est due l'élaboration de la séve appartient spécialement aux feuilles et n'est pas étrangère aux racines; c'est peut-être à la production d'une petite quantité de séve élaborée produite par les racines, qu'est due chez le *pinus picea* la conservation de la vie et la continuité de l'accroissement pendant un grand nombre d'années, dans la souche de cet arbre et dans les racines, lorsqu'il a été abattu. La séve élaborée prend un mouvement ascendant lorsqu'elle est dissoute par la séve lymphatique, qui l'entraîne alors dans son mouvement d'ascension; c'est ce qui arrive lors de l'ascension de la séve lymphatique au printemps, ainsi que cela est démontré par les expériences de M. Knight [1]. Cet observateur recueillit au printemps de la séve du sycomore et de celle du bouleau à diverses hauteurs au-dessus du sol, et il trouva que cette séve était d'autant plus dense qu'elle était recueillie dans une partie plus élevée de l'arbre. Ainsi la séve du sycomore, recueillie au niveau du sol, avait une pesanteur spécifique de 1,004, et elle était insipide; la séve du même arbre, recueillie à sept pieds au-dessus du sol, avait une pesanteur spécifique de 1,008; à douze pieds au-dessus du sol, la pesanteur spécifique de cette séve était de 1,012, et elle avait acquis une saveur sucrée. Ces expériences prouvent que la séve lymphatique, dans sa progression ascendante, *s'unit* à la séve élaborée qui existe dans le *végétal*, et qu'elle l'entraîne avec elle, en sorte que cette séve lymphatique devient, par cette addition, séve nourricière.

La séve lymphatique n'est généralement ascendante que parce qu'elle tire spécialement son origine de la partie inférieure du végétal ou des racines. Or, l'introduction de cette séve lymphatique a lieu très-souvent par les feuilles qui absorbent l'eau qui les mouille; il existe alors un courant de séve lymphatique, dont la progression est descendante. La direction du courant de la séve lymphatique est donc déterminée par le lieu de son introduction. Chez les plantes complétement submergées, il n'existe peut-être point de direction particulière pour le courant de la séve lymphatique, laquelle doit s'introduire de toutes parts. Cependant, il est probable que les racines sont plus aptes que les autres parties pour opérer cette introduction, et qu'il doit exister ainsi un courant de séve lymphatique ascendante même chez les plantes submergées.

La séve lymphatique prend quelquefois un mouvement descendant dans les racines; ce fait m'a été prouvé par les expériences suivantes : Une racine d'arbre mise à nu dans une partie de son étendue par un éboulement de terrain, avait produit un rejeton de tige à deux mètres au-dessous de l'origine du tronc. Je coupai cette racine immédiatement au-dessous du rejeton qu'elle avait produit, en sorte que ce dernier ne pouvait plus continuer à

[1] Philosophical transactions, 1805, concerning the state in which the true sap of trees is deposited during winter.

vivre qu'au moyen de la séve qui descendrait de la base du tronc dans la portion de racine qui portait ce rejeton. Cette expérience fut faite pendant l'hiver avant le retour de la végétation ; au printemps, le rejeton végétal continua de vivre, ce qui me prouva que la séve lymphatique avait pénétré par une progression descendante, dans la racine qui le portait. Ce mouvement rétrograde, que la séve lymphatique affecte quelquefois dans les racines, me fut encore prouvé par l'expérience suivante : Ayant mis à nu dans une grande étendue une racine de vigne au commencement du printemps, je coupai son extrémité ; la séve lymphatique s'écoula pendant un jour de cette extrémité de racine tronquée, comme cela aurait eu lieu par l'extrémité d'une tige. Ainsi la séve lymphatique affectait, dans cette circonstance, un mouvement rétrograde.

On sait par les expériences de Sarrabat et de Bonnet, que la moelle ou *médulle centrale* ne transmet point du tout la séve ascendante. Les cellules de la moelle sont cependant, dans l'origine, remplies par un liquide fort abondant, lequel ordinairement ne tarde pas à disparaître. Alors, ces cellules se dessèchent et se remplissent d'air. Le liquide qui remplit les cellules de la moelle, dans l'origine, a certainement un usage physiologique fort important. Le volume toujours proportionnellement très-considérable de la moelle dans les jeunes tiges, annonce l'importance de ses fonctions. M. Dupetit-Thouars pense que le liquide que contient la moelle est destiné à nourrir les bourgeons en évolution. Cette opinion semble être appuyée par l'observation, qui prouve que le liquide de la moelle disparaît à mesure que les bourgeons de la jeune tige se développent. Toutefois, ce fait est loin de prouver que le liquide séveux qui remplit la moelle, ait pour usage physiologique spécial de nourrir les bourgeons. Il arrive très-fréquemment, dans l'organisme végétal comme dans l'organisme animal, que la matière organique soit transportée d'une partie dans une autre. Les parties dont la vitalité est la plus active, se nourrissent aux dépens des organes voisins dont la vitalité est moindre. Ce phénomène dépend de la manière diverse dont la force d'absorption et de nutrition est répartie entre les différents organes. Mais, de ce qu'un organe se nourrit aux dépens de son voisin, il serait peu philosophique de conclure que l'un est destiné par la nature à servir de nourriture à l'autre. Chaque organe possède en lui-même la raison de son existence; cette raison n'existe point hors de lui, s'il arrive que sa matière composante serve de nourriture à un organe voisin. Cet usage de l'organe dont la matière est absorbée est purement éventuel; ce n'est point là le but physiologique de son existence. Ainsi, bien qu'il paraisse fort probable que le liquide séveux qui remplit la moelle des jeunes tiges serve à nourrir les bourgeons, toutefois ce n'est point là le but physiologique de l'existence de la moelle. Le rôle que joue cette partie importante de l'organisation végétale n'est pas encore entièrement déterminé.

Il résulte des observations qui viennent d'être exposées, qu'il n'y a point, à proprement parler, de *circulation* de la séve chez les végétaux. Ce liquide, d'abord simplement aqueux lors de son introduction, ensuite devenu dense et *organique* par le fait de son élaboration, se meut dans le tissu végétal dans toutes les directions ; il est soumis à une diffusion générale. Cependant, comme l'introduction de la séve aqueuse ou lymphatique a lieu spécialement par la partie inférieure du végétal ou par les racines, et que la formation de la séve élaborée a lieu spécialement dans la partie supérieure du végétal, ou dans les feuilles, il en résulte que la majeure partie de la séve lymphatique est ascendante, et que la majeure partie de la séve élaborée est descendante. Mais ce double mouvement ne constitue point une *circulation*. La progression de la séve lymphatique a lieu exclusivement par le tissu ligneux du système central. Ceux des organes tubuleux de ce système qui sont destinés par la nature à contenir de l'air, sont souvent envahis par la séve lympha-

tique d'une manière accidentelle. La progresion de la séve élaborée, quoique généralement descendante, a véritablement lieu dans tous les sens et par toutes les voies, puisqu'elle est dissoute et entraînée par la séve lymphatique qui pénètre partout.

L'on désigne chez les végétaux sous le nom de *sucs propres,* des liquides qui ne sont point tous de la même nature. Souvent c'est la séve nourricière elle-même ou la séve élaborée, que l'on appelle ainsi; tantôt ce sont des liquides sécrétés et d'une nature particulière; tantôt, enfin, ce sont de véritables résidus du liquide nutritif. Ainsi, le liquide laiteux, si abondant dans le système central comme dans le système cortical de la laitue, du figuier, des euphorbes, etc., et auquel on a donné le nom de *latex*, est, on n'en peut douter, la séve nourricière elle-même; c'est cette même séve qui est gommeuse dans les arbres des genres *prunus, amygdalus*, etc. La résine pure et liquide que l'on trouve dans le bois et dans l'écorce des conifères me paraît être le résidu de la séve nourricière épuisée de tous ses principes nutritifs. C'est une sorte de *caput mortuum* insoluble dans l'eau, et par conséquent incapable de servir désormais à la nutrition. Souvent on ne trouve les vaisseaux du latex que dans le système cortical; c'est ce que l'on voit, par exemple, chez le *rhus typhinum*, chez les jeunes branches de l'*acer campestre*, etc.

L'épanchement de la séve élaborée au point de jonction des deux systèmes cortical et central chez les végétaux dicotylédons a lieu dès le commencement du printemps, au moment de l'apparition des feuilles. Cependant, cet épanchement peut exister sans qu'il y ait de feuilles sur un arbre. J'ai observé, un grand nombre de fois, qu'un tronc d'arbre abattu pendant l'hiver, et qui est entièrement dépouillé de ses branches, ne laisse pas au printemps de présenter l'épanchement de la séve au-dessous de son écorce. J'ai fait cette observation sur des arbres de divers genres; elle prouve bien évidemment que cette séve épanchée ne provient ni des feuilles en évolution, ni des racines : elle existait dans le tissu du végétal, et elle en est expulsée par une cause inconnue pour s'épancher entre le bois et l'écorce. Une quantité très-considérable de séve élaborée existe dans les arbres, lorsque arrive l'époque de la chute de leurs feuilles. Cette séve se conserve dans le tissu végétal pendant l'hiver. C'est elle qui coule en si grande abondance, pendant l'hiver, des entailles faites à l'écorce de l'érable à sucre (*acer saccharinum*). Lorsque la température devient suffisamment élevée, cette séve, par un mécanisme inconnu, est chassée en partie du tissu du végétal et versée entre le bois et l'écorce. Si la température vient à s'abaisser accidentellement, cette séve épanchée disparaît aussitôt, elle rentre dans le tissu du végétal. Ceci est le résultat d'une observation vulgaire, faite par les ouvriers qui travaillent à la décortication des jeunes chênes pour le tannage des cuirs. J'ai été souvent à même d'en vérifier l'exactitude. On ignore entièrement quel est le rapport qui existe entre l'élévation de la température et l'épanchement de la séve entre le bois et l'écorce. Lorsque les arbres prennent leur état d'*hibernation*, ce qui arrive souvent pour les bourgeons dès le milieu de l'été, la séve cesse d'être épanchée entre le bois et l'écorce, et cela malgré l'existence d'une température suffisante. On ignore la cause de la cessation de cet épanchement.

Les végétaux monocotylédons n'ont point d'épanchement de la séve entre leur système central et leur système cortical. C'est évidemment l'absence de cet épanchement qui est la cause de l'absence, chez ces végétaux, de l'accroissement extérieur du système central et de l'accroissement intérieur du système cortical. Mais pourquoi cet épanchement de la séve n'existe-t-il point chez les végétaux monocotylédons? Cela me paraît tenir à ce que ces végétaux n'ont point de rayons médullaires. Ces rayons transversaux me paraissent être la voie de transmission, par laquelle la séve parvient de l'intérieur du tissu du végétal dans le lieu de jonction des deux systèmes. Ces rayons médullaires sont composés de cellules allongées dans le sens transversal;

or, le sens de l'allongement des organes élémentaires des végétaux indique généralement le sens de la marche que suit la séve qui les traverse. Les rayons médullaires sont, par conséquent, exclusivement appropriés à servir de conduits transversaux à la séve; c'est donc par leurs canaux qu'elle parvient de l'intérieur du tissu du végétal dans le lieu de jonction des deux systèmes. Les végétaux dicotylédons, ayant seuls des rayons médullaires, ont seuls aussi un épanchement de séve entre le bois et l'écorce. Cependant, par une exception fort remarquable, la tige souterraine du *tamus communis,* plante monocotylédone, possède des rayons médullaires; aussi, son système central s'accroît-il en diamètre de la même manière que cela a lieu chez un végétal dicotylédon. Tout concourt donc à prouver que c'est à l'existence des rayons médullaires qu'est dû l'épanchement de la séve entre les deux systèmes cortical et central, et par suite l'accroissement dans cet endroit de ces deux systèmes.

La progression de la séve, chez les végétaux monocotylédons, doit s'effectuer bien certainement de la même manière que chez les végétaux dicotylédons, c'est-à-dire que la séve lymphatique doit monter par le système central, et que la séve élaborée doit descendre par tous les organes destinés à contenir des liquides, et au moyen d'une diffusion générale.

§ II. — *Des causes de la progression de la séve.*

Le phénomène de l'ascension de la séve est resté jusqu'à nos jours sans aucune explication plausible; l'élévation de ce liquide, à une hauteur très-considérable, dans les arbres rend tout à fait nulle l'explication de ce phénomène fondée sur la seule considération de l'élévation de l'eau dans les tubes végétaux, en vertu de l'attraction capillaire qu'ils exercent. Il est également impossible d'admettre les hypothèses émises sur cet objet par Malpighi et par Sarrabat. Le premier pensait que l'élévation de la séve est le résultat de la dilatation et de la condensation alternatives de ce liquide par les variations diverses de la température atmosphérique. Le second admettait que ces mêmes variations de la température atmosphérique agissent spécialement en opérant la dilatation et la condensation alternatives de l'air contenu dans la moelle et dans les trachées, et que c'est le balancement de cet air dont le volume est alternativement augmenté et diminué qui produit la progression de la séve.

Ces deux physiciens, comme on le voit, cherchent à trouver la cause du mouvement de la séve dans une sorte de *systole* et de *diastole* qui aurait son siége dans les liquides ou dans les gaz contenus dans le tissu végétal, et non dans les solides organiques, comme cela a lieu chez les animaux, dans l'action du cœur. D'autres physiologistes ont pensé que le tissu végétal est susceptible de se contracter sur le liquide introduit dans ses petites cavités par l'attraction capillaire, et que c'est cette contraction des parois des organes creux qui chasse de proche en proche le liquide séveux; d'autres, enfin, sans se rendre aucun compte du mécanisme au moyen duquel la séve se meut dans les végétaux, se contentent de dire que ce liquide *se porte là où il est appelé;* mettant ainsi une sorte de voile sur ce phénomène, qu'ils considèrent comme dû, pour ainsi dire, à une cause *intelligente.* C'est ici une véritable *psychomorphie,* dont le mauvais exemple est emprunté à une certaine école de la physiologie animale.

Les hypothèses de Malpighi et de Sarrabat ne sont pas susceptibles de soutenir un examen sérieux; l'hypothèse de l'impulsion de la séve par la contraction des parois des organes qui contiennent ce liquide est plus spécieuse, et paraît, au premier coup d'œil, être appuyée sur des faits. Lorsqu'on coupe une plante qui contient beaucoup de liquides, telle qu'une plante laiteuse, le liquide est chassé hors du tissu végétal en quantité assez considérable, il sort également des deux parties de la plante divisée transversalement et même contre la direction de la pesanteur. Ceci prouve que les organes creux,

qui contiennent ce liquide, éprouvent un resserrement qui diminue la capacité de leur cavité; ils se *contractent* sur le liquide et l'expulsent en partie. Brugmans et Coulomb supçonnèrent que ce *resserrement* était une véritable *contraction* semblable à celle de la fibre musculaire, et crurent voir que cette contraction prétendue était augmentée par l'application d'une substance astringente, laquelle en procurant l'occlusion des orifices ouverts des vaisseaux suspendait l'émission du liquide végétal; mais cette assertion a été infirmée par les résultats contradictoires obtenus dans la même expérience par MM. Van Marum, Link et Tréviranus. S'il en était besoin, je joindrais ici mon témoignage à celui de ces derniers naturalistes. Ainsi, il n'y a point de conclusion à tirer de l'expérience de Brugmans et Coulomb pour l'existence d'une *contraction véritable* dans les parois des organes qui contiennent la séve, bien qu'il soit incontestable qu'il existe un *resserrement* dans ces mêmes organes, lorsqu'on donne issue au liquide qu'ils contiennent. Van Marum a cherché à démontrer l'existence d'une *véritable contraction* dans ces organes par l'expérience suivante : il fit passer une forte décharge électrique au travers d'une tige d'euphorbe, et il observa que cette tige, divisée transversalement, ne versait point de suc laiteux par une émission spontanée; mais on faisait sortir ce suc en comprimant la tige. Van Marum crut pouvoir conclure de cette expérience, que la décharge électrique avait aboli l'*irritabilité* ou la *contractilité* des vaisseaux de la plante, de la même manière qu'elle abolit la contractilité de la fibre musculaire chez les animaux. En admettant qu'il n'y ait aucune cause d'erreur dans cette expérience, ce qui me paraît douteux, il en résulterait seulement que la décharge électrique a fait cesser l'état de pression où le liquide laiteux se trouvait dans les organes creux qui le contenaient. Or ce résultat peut provenir de la lacération des cellules ou des tubes du végétal, par la décharge électrique, ou peut-être de la violente impulsion donnée par cette décharge au liquide laiteux. Ces deux causes, en effet, peuvent avoir procuré la sortie de ce liquide des organes spéciaux qui le contenaient et sa diffusion dans les organes voisins. Dès lors ce liquide n'est plus soumis à la pression qui l'aurait déterminé à sortir des vaisseaux dans lesquels il était accumulé auparavant. Toujours est-il certain que cette expérience ne prouve point du tout l'existence dans les organes élémentaires du végétal d'une *contractilité* semblable, par son mécanisme, à celle qui existe dans la fibre musculaire des animaux; il n'y a *ici de* prouvé que l'existence d'un *resserrement* ou d'une diminution de capacité des organes creux; or ce *resserrement* est évidemment un résultat de l'élasticité de ces organes distendus par le liquide qu'ils contiennent *avec excès,* ce qui les constitue dans ce que j'appelle l'*état turgide.* Or cet *état turgide,* ou cet état de réplétion avec excès, est très-évidemment un résultat de l'endosmose. Le liquide laiteux est plus dense que la séve lymphatique, les tubes qui le contiennent ont des parois au travers desquelles les liquides filtrent avec facilité; dès lors les conditions de l'endosmose existent, et cette action physique doit avoir lieu; la séve lymphatique introduite avec excès dans le liquide laiteux distend les organes qui contiennent ce dernier et les rend *turgides;* leurs parois distendues réagissent par leur élasticité sur ce liquide qu'elles expulsent en se resserrant, lorsqu'une voie lui est offerte pour sortir; on voit qu'il n'est point besoin d'admettre ici une *contractilité* pareille à celle de la fibre musculaire. Aussi observe-t-on la sortie du liquide laiteux du bois des jeunes scions, chez le figuier; or il n'est guère possible d'admettre la *contractilité* dans le tissu déjà endurci du bois.

Toutes les plantes, dans leur état de vie, possèdent un *état turgide* qu'elles doivent à l'endosmose, qui remplit avec excès leurs petits organes creux, en y introduisant la séve lymphatique ou l'eau puisée au dehors. Or, c'est véritablement cette même endosmose qui est une des

causes immédiates du mouvement de progression de la séve.

L'observation apprend que l'ascension de la séve dépend de deux forces : 1° d'une impulsion ; 2° d'une attraction. L'ascension de la séve par impulsion se manifeste très-évidemment dans son émission, au printemps, de l'extrémité tronquée des rameaux de la vigne ; l'ascension de la séve par une sorte d'attraction a lieu lorsqu'on met tremper dans l'eau la partie inférieure d'une tige coupée transversalement. L'eau est *pompée* par la tige qui la transmet aux feuilles. C'est dans celles-ci que semble résider la force attractive qui opère alors seule l'ascension de l'eau ; aussi Hales pensait-il que le principal usage des feuilles est d'élever la séve.

La force qui opère l'impulsion de la séve ascendante dans la vigne est très-considérable : on sait qu'elle a été mesurée par Hales qui, ayant adapté un tube de verre rempli de mercure à un cep de vigne tronqué, vit ce métal s'élever à 33 et à 38 pouces au-dessus de son niveau primitif, pressé par l'effort que faisait la séve pour sortir de l'extrémité tronquée du cep. Les résultats de cette expérience avaient été mis en doute par Sennebier et par d'autres physiciens ; mais leur certitude a été confirmée par MM. de Mirbel et Chevreul, qui, ayant répété l'expérience de Hales, ont vu la force impulsive de la séve élever le mercure à 29 pouces au-dessus de son niveau primitif. Le fait de cette impulsion de la séve étant incontestable, il s'agit de déterminer quel est le lieu duquel elle part et quelle est sa cause ? c'est ce que m'ont appris les observations suivantes :

Je choisis au printemps une tige de vigne, longue de six pieds, et j'en tronquai l'extrémité de laquelle la séve s'écoula goutte à goutte d'une manière continue. Alors, je fis couper d'un seul coup cette tige auprès du sol ; à l'instant, l'écoulement de la séve par l'extrémité supérieure de la tige tronquée cessa d'avoir lieu, ce qui me prouva que la force impulsive n'avait point son siége dans les organes de la tige ; je vis même que ces organes étaient entièrement passifs dans cette circonstance ; car la séve qu'ils contenaient s'écoulait goutte à goutte par l'effet de la pesanteur, et cette émission avait lieu par celle des extrémités de la tige que je tenais en bas. Cependant, la portion de tige restée dans le sol continuait de verser de la séve. Je fis enlever la terre qui la recouvrait ainsi que la racine, et je coupai transversalement cette dernière. La séve s'écoula seulement de la partie inférieure de la racine restée implantée dans le sol. Je poursuivis cette recherche par des sections toujours pratiquées plus bas sur une des racines, et je parvins ainsi jusqu'aux radicelles : il me fut prouvé par là que la cause impulsive qui opérait l'ascension de la séve avait son siége dans les extrémités des racines ou dans le chevelu. Chaque filament de chevelu est terminé par une spongiole d'une extrême petitesse. Le hasard me fit trouver un de ces filaments de chevelu, qui était beaucoup plus gros que les autres, et dont la spongiole était assez développée pour pouvoir être facilement observée. Je pris ce filament de chevelu et je mis sa spongiole seulement tremper dans l'eau ; j'observais avec une loupe la coupe transversale de ce filament, situé hors de l'eau. Bientôt je vis la séve suinter sur cette coupe transversale, et sortir par la partie ligneuse du filament. Ainsi, il me fut complétement démontré que la force impulsive qui opère l'ascension de la séve a son siége exclusif dans les spongioles. J'examinai au microscope la structure de la grosse spongiole, dont je viens de faire mention. Son tissu blanc et délicat paraissait entièrement composé de tissu cellulaire. La partie centrale, composée de cellules articulées en séries longitudinales, était continue avec le système central de la radicelle. La partie extérieure, beaucoup plus volumineuse, était continue avec le système cortical de la radicelle ; ayant mis une goutte d'acide nitrique sur ce tissu cellulaire qui compose toute l'organisation de la spongiole, il se forma un petit caillot opaque dans chaque cellule du système cortical, ce qui me prouva que les cellules de ce système contenaient un liquide très-dense, puis-

qu'il était coagulable. L'existence de ce liquide dense dans les cellules corticales de la spongiole suffit pour rendre raison de la force impulsive dont elle est le siége. La spongiole est baignée extérieurement par l'eau dont la terre est imbibée; l'endosmose introduit sans cesse cette eau extérieure dans les cellules remplies d'un liquide dense, et cette eau ou cette séve lymphatique, sans cesse introduite, est chassée dans les organes de la tige par lesquels s'opère son ascension. Ce phénomène est exactement le même que celui de l'ascension du liquide dense dans le tube de l'endosmomètre (figure 1, planche 1), dont le réservoir fermé par une membrane est plongé dans l'eau. Cette membrane remplit exactement ici le rôle de la spongiole. J'ai fait voir que la force impulsive qui opère dans cette circonstance l'ascension du liquide est très-considérable, et capable de soulever le poids de plus d'une atmosphère; cela rend complétement raison de la force avec laquelle la séve est poussée de bas en haut dans la vigne. Voilà donc un premier phénomène, celui de l'impulsion de la séve, dont la cause est dévoilée; cette cause est indubitablement l'endosmose. Passons à l'examen du second phénomène que présente l'ascension de la séve, c'est-à-dire à l'étude de l'*attraction* par laquelle ce liquide est élevé dans les tiges séparées de leurs racines, et trempées dans l'eau par leur partie inférieure tronquée. Ce phénomène a été considéré comme un simple effet de l'ascension des liquides dans les tubes capillaires, mais il est bien évident que telle n'est point sa cause, ou du moins sa cause exclusive ou principale; car l'ascension des liquides dans les tubes capillaires ne peut porter ces liquides bien haut; or, j'ai expérimenté qu'une clématite (*clematis vitalba*), élevée de plus de vingt pieds dans l'arbre qui la soutenait, étant coupée et trempant dans un vase plein d'eau par sa partie inférieure tronquée, pompait cette eau de manière à entretenir la vie et la fraîcheur de toutes ses feuilles, comme l'aurait fait la plante la plus humble. L'existence des tubes fibreux chez tous les végétaux ligneux peut servir, du moins en partie, à rendre raison de cette ascension de la séve. Ces organes, pourvus à chaque extrémité d'un canal dont la capillarité est excessive, et munis dans leur milieu d'un renflement qui peut servir de réservoir pour la séve, peuvent être considérés comme servant à multiplier les actions capillaires, par la disposition alternative des réservoirs de la séve et des tubes capillaires qui y aboutissent de chaque côté, et qui communiquent d'un tube fibreux à un autre. On conçoit que ce mécanisme rend assez bien raison de l'ascension de l'eau dans une tige qui trempe dans ce liquide par sa partie inférieure tronquée, et il est bien probable que tel est effectivement l'office des tubes fibreux. Cependant, l'ascension de la séve a lieu sans l'intervention de ces organes; car il est des végétaux qui n'en contiennent point, et qui, cependant, lorsque leur tige est séparée de la racine, élèvent très-bien l'eau qu'on lui donne à pomper. Il y a donc un autre mécanisme ou une autre cause qui préside à cette ascension de l'eau. Hales, ayant remarqué que les végétaux élèvent d'autant plus de séve qu'ils ont plus de feuilles, fut porté à en conclure que les feuilles sont les organes qui opèrent l'élévation de la séve par la succion qu'elles exercent sur ce liquide qu'elles livrent ensuite à l'évaporation. La grande étendue de leur surface, et le peu d'épaisseur que possède généralement leur tissu, rendent cette évaporation très-facile. Or, on pourrait penser que cette évaporation de la séve serait une des causes de son ascension; les cellules superficielles des feuilles, vidées en partie par l'émanation aqueuse, soutireraient en vertu de leur capillarité la séve contenue dans les cellules voisines situées plus profondément, et la même action, exercée de proche en proche, parviendrait ainsi jusqu'aux racines, ou jusqu'à l'extrémité tronquée de la tige qui trempe dans l'eau. Cette explication du phénomène paraît plausible au premier coup d'œil, mais elle ne soutient pas l'épreuve de l'expérience, comme on va le voir. Si, en effet,

la vacuité des cellules des feuilles était la cause de l'ascension de la séve, on verrait cette ascension devenir d'autant plus rapide et d'autant plus abondante, que la vacuité des cellules des feuilles serait plus considérable; or, cela n'a point toujours lieu, ainsi que le prouvent les expériences suivantes.

J'ai coupé une tige de mercuriale et je l'ai laissée se dessécher sur le sol jusqu'à ce qu'elle eût perdu les 0,15 de son poids. Dans cet état, ses feuilles étaient pendantes et dans un état de flaccidité qu'elles devaient à la vacuité commençante des cellules de leur limbe. Je mis alors cette plante tremper par la partie inférieure de sa tige, dans un flacon rempli d'eau, que j'avais pesé auparavant, ainsi que la plante elle-même. La température de l'atmosphère était alors à + 12 degrés R. Au bout de quatre heures, la plante avait absorbé assez d'eau pour reprendre complétement son état turgide; cependant, il lui manquait encore quelque chose de son poids primitif. Pendant ces quatre premières heures, la plante avait absorbé 82 grains d'eau ou 20 grains 1/2 par heure, et en avait évaporé 34 grains ou 8 grains 1/2 par heure. Pendant les quatre heures suivantes, les circonstances extérieures étant exactement les mêmes, la plante absorba 38 grains d'eau seulement ou 9 grains 1/2 par heure, et en évapora 36 grains ou 9 grains par heure. L'absorption, comme on le voit, commençait à devenir proportionnelle à l'évaporation, à laquelle elle s'était montrée très-supérieure pendant les quatre premières heures. A partir de là, la plante que je continuai d'observer me fit voir constamment une absorption à peu près proportionnelle à son émanation aqueuse; elle se comporta, en un mot, comme une plante à laquelle il ne manque rien de ses conditions vitales. Cette première expérience paraît prouver que la vacuité des cellules des feuilles est la véritable cause de l'ascension de la séve, puisque cette ascension a été plus rapide et plus abondante, lorsque les cellules des feuilles étaient dans un certain état de vacuité que lorsqu'elles se sont trouvées plus remplies. Mais cette déduction généralisée serait une erreur, comme on va le voir.

Je coupai une mercuriale et je la laissai se dessécher, jusqu'au point de perdre les 0,36 de son poids. Je la mis alors tremper dans un flacon plein d'eau, par l'extrémité inférieure de sa tige. L'absorption de l'eau fut d'une lenteur extrême; car elle ne s'éleva qu'à 2 grains 1/3 par heure pendant les vingt-quatre premières heures, et comme la plante continuait à perdre de l'eau par l'évaporation, elle ne récupéra pendant ce temps que douze grains de son poids perdu. Cette expérience se faisait en même temps que l'expérience précédente, et dans le même local; les deux plantes qui servaient à ces deux expériences avaient le même poids lorsque je les cueillis, et que je les laissai éprouver un commencement de dessèchement, en sorte que ces deux expériences sont comparables. La plante qui fait le sujet de cette seconde expérience conserva l'état de flaccidité de la plupart de ses feuilles; quelques-unes des feuilles inférieures seulement reprirent leur état turgide et leur fraîcheur. Le lendemain, l'absorption de l'eau ne s'éleva plus qu'à un grain et demi par heure. Les feuilles commencèrent à se dessécher, et cette dessiccation devint complète les jours suivants; il n'y eut que deux petits rameaux inférieurs qui demeurèrent vivants.

Cette seconde expérience prouve, d'une manière certaine, que l'ascension de la séve n'est point le résultat de la vacuité des cellules des feuilles; on voit, en effet, que cette vacuité, poussée jusqu'au point d'enlever à la plante les 0,36 de son poids par l'évaporation de l'eau, diminue considérablement l'absorption et l'ascension de l'eau bien loin de l'augmenter, comme cela a eu lieu lorsque la plante n'avait perdu par l'évaporation que les 0,15 de son poids. Je vais exposer tout à l'heure la cause de cette différence; je continue ce genre d'observations et d'expériences. Une mercuriale coupée depuis vingt-huit heures avait perdu par la dessiccation les 0,46 de son poids. Je la mis tremper

dans un flacon plein d'eau, par sa partie inférieure, et je la plaçai sous une cloche de verre fermée avec de l'eau. De cette manière, la plante ne pouvant rien perdre par l'évaporation dans l'atmosphère humide qui l'environnait, je n'avais plus à craindre de voir s'opérer la dessiccation de ses feuilles. L'absorption de l'eau qu'elle opéra ne s'éleva qu'à 2 grains 1/2 par heure, pendant le premier jour, et à un grain et demi par heure pendant les quatre jours suivants, au bout desquels la plante se trouva avoir récupéré à peu près son poids primitif, son état turgide et sa fraîcheur. On voit encore ici l'extrême lenteur de l'absorption et de l'ascension de l'eau, lorsque la dessiccation des feuilles est poussée jusqu'à un certain point. Cette dessiccation, au reste, était bien loin d'être complète; les feuilles de toutes ces plantes qui avaient perdu une certaine partie de l'eau qui imbibait leur tissu, étaient dans l'état de flaccidité, mais non dans l'état de dessèchement et de mort; elles étaient susceptibles de revenir à la vie comme le prouvera tout à l'heure une autre expérience. Toutefois, pour savoir à quoi m'en tenir sur la quantité de l'eau qu'elles avaient perdue, relativement à la totalité de celle qu'elles contenaient, je fis dessécher complétement les plantes qui avaient servi aux deux dernières expériences, et je trouvai que leur substance sèche et solide pesait dans la première les 0,17, et dans la seconde les 0,14 de ce que pesait la plante dans l'état frais. La première contenait donc primitivement 0,83, et la seconde 0,86 d'eau. Or, la première avait perdu 0,36 de son poids, lorsque je la mis en expérience; il lui restait par conséquent les 0,47 de sa séve. La seconde avait perdu les 0,46 de son poids au commencement de l'expérience; il lui restait donc les 0,40 de sa séve. On voit ainsi que ces plantes étaient très-éloignées de cet état de dessiccation, qui est pour les plantes un état de mort complète. On voit aussi par là que si elles absorbaient difficilement l'eau, cela ne provenait point de la dessiccation de leurs cellules que cette dessiccation aurait rendues moins avides d'eau. C'est ainsi, en effet, qu'une éponge sèche refuse quelque temps de s'imbiber d'eau, tandis qu'elle l'absorbe avec rapidité lorsque ses cellules sont préalablement mouillées.

Je coupai une mercuriale, que je laissai se dessécher jusqu'au point d'avoir perdu les 0,36 de son poids. L'expérience m'avait appris que, parvenue à ce degré de dessiccation, la plante n'était plus susceptible de reprendre son état turgide et sa fraîcheur, en la mettant tremper dans l'eau seulement par la partie *inférieure* de sa tige. Je la plongeai *entièrement* dans l'eau, et je l'en retirai au *bout de* douze heures, ayant complétement récupéré son état turgide et sa fraîcheur. Je mis alors la partie inférieure de sa tige dans un flacon plein d'eau, et la plante resta exposée à l'action de l'atmosphère dans un appartement. Cette plante absorba l'eau du flacon et en opéra l'ascension, de la même manière que l'aurait fait une mercuriale fraîchement coupée. Je la conservai pendant quinze jours, sans que sa vie et sa fraîcheur éprouvassent d'altération sensible. Je fis la même expérience sur deux autres mercuriales, dont la dessiccation fut poussée plus loin; l'une avait perdu par la dessiccation 0,61, et l'autre 0,72 de son poids. Les feuilles de la première étaient, pour la plupart, encore souples avec flaccidité; les feuilles de la seconde commençaient à offrir cette sorte de crépitation, qui est l'indice d'une dessiccation avancée. Je plongeai entièrement ces deux plantes dans l'eau. Les feuilles de quelques-uns des rameaux de la première reprirent leur état turgide et leur fraîcheur; mais les autres feuilles, en plus grand nombre, demeurèrent dans l'état de flaccidité, quoiqu'elles fussent complétement imbibées d'eau; le même état de flaccidité se montra dans toutes les feuilles de la seconde mercuriale, qui avait le plus perdu par la dessiccation. Ces deux plantes furent tirées de l'eau et placées par le bas de leur tige dans des flacons pleins d'eau. Les rameaux de la mercuriale qui avaient repris dans l'eau leur

état turgide opérèrent seuls l'ascension de la séve et demeurèrent vivants; tout le reste se dessécha. Ainsi, une dessiccation trop avancée enlève aux feuilles la faculté de reprendre leur état turgide, lorsqu'on leur restitue l'eau qu'elles ont perdue, quoiqu'elles en soient imbibées jusqu'à la saturation de l'attraction qu'elles exercent sur ce liquide en vertu de leur capillarité. Avec cette possibilité de reprendre l'*état turgide,* disparaît, dans le végétal, la faculté d'opérer l'ascension de l'eau par attraction, et par conséquent la mort survient ou même est déjà survenue.

Ces expériences fournissent quatre résultats importants: le premier, est que la vacuité des cellules de la plante n'est point la cause de l'ascension de la séve; le second, est que cette ascension n'a lieu que lorsqu'il existe préalablement une suffisante quantité d'eau dans le tissu de la plante; le troisième, est que la diminution peu considérable de la quantité de cette eau préalablement existante dans le tissu de la plante, augmente considérablement l'ascension de la séve par attraction; le quatrième, est que l'ascension de la séve n'a lieu que lorsque les cellules ou les autres organes creux qui la contiennent et qui composent le tissu végétal, sont susceptibles de posséder leur état turgide naturel ou de le reprendre lorsqu'ils l'ont perdu. Or, cette faculté de prendre et de conserver l'*état turgide* n'est autre, dans le fait, que la faculté d'*attirer l'eau,* puisque ce n'est que par le moyen de l'eau qu'elles attirent et introduisent avec excès dans leur cavité, que les cellules végétales deviennent turgescentes. Ce sont donc les causes qui sont susceptibles de rendre les cellules turgescentes, qui opèrent l'ascension de la séve par attraction. La seule de ces causes qui soit connue est l'endosmose. C'est en effet la seule endosmose implétive qui puisse produire l'état turgide des cellules, du moins dans l'état actuel de nos connaissances; mais il est en même temps certain que la fixation de l'oxygène respiratoire, dans le tissu vivant végétal, intervient ici d'une manière puissante pour occasionner l'état turgide des cellules végétales, et par conséquent pour produire l'ascension de la séve par attraction. J'établirai plus bas cette vérité sur des preuves expérimentales; je soupçonne que la fixation de l'oxygène respiratoire augmente considérablement la force, encore inconnue dans sa nature, à laquelle est due l'endosmose. Quoi qu'il en soit, il me paraît facile d'expliquer comment l'endosmose, en produisant la turgescence des cellules, produit en même temps l'ascension de la séve lymphatique par attraction. Celles des cellules des feuilles qui ne sont point destinées à contenir de l'air sont remplies par des liquides organiques denses. Ces cellules, se trouvant en contact avec les organes qui contiennent la séve lympathique, deviennent le siége d'une endosmose implétive qui les rend turgescentes. L'introduction continuelle de l'eau dans leur intérieur produit nécessairement l'expulsion d'une partie de celle qu'elles contiennent déjà; de là, naît l'émanation aqueuse, laquelle est favorisée par l'action dissolvante de l'atmosphère. Ce moyen de déplétion pour les cellules superficielles entretient le jeu continuel de leur endosmose implétive: elles puisent en dedans l'eau qu'elles versent au dehors et qui s'évapore; de là naît le mouvement d'ascension de la séve par un mécanisme exactement semblable à celui qui a lieu dans l'endosmomètre que représente la figure 2 de la planche 1. Supposons, en effet, que la partie *ab* de cet endosmomètre soit une cellule végétale contenant un liquide dense et en contact avec un tube rempli d'eau ou de séve lymphatique, qui sera supposé être ici la partie *cd* du même endosmomètre. L'endosmose, s'exerçant au travers de la membrane séparatrice, introduira l'eau que contient la partie *cd,* ou l'organe à séve lymphatique, dans la partie *ab,* ou dans la cellule qui contient le liquide dense. Cette eau sera évacuée par expulsion, au point *b* où le tube est ouvert, et où elle pourra être évaporée; en même temps, l'eau contenue dans le vase *g* sera déterminée à monter dans le tube par son ouverture *d,* pour remplacer celle que l'endosmose introduit au travers

de la membrane séparatrice dans la partie supérieure *ab*. Ici, il est évident que c'est la pression de l'atmosphère sur la surface de l'eau contenue dans le vase *g*, qui détermine l'ascension de cette eau dans le tube par son ouverture *d*, pour remplacer celle que l'endosmose fait sans cesse passer au travers de la membrane séparatrice dans le réservoir *a b* de l'endosmomètre. Or, cette succession d'actions physiques représente exactement celles qui ont lieu lors de l'ascension de la séve *par attraction*. J'emploie cette expression, faute d'une autre plus exacte, pour exprimer le mouvement ascensionnel de la séve produit par une force qui a son siége dans la partie vers laquelle marche cette même séve. Ainsi, cette expression *attraction* ne représente point ici *la cause* du mouvement de la séve, mais seulement le sens du mouvement de la séve, par rapport à la force qui produit ce mouvement. Dans les spongioles des racines, il y a une *force impulsive* qui chasse la séve lymphatique vers le sommet du végétal; dans les feuilles et dans les autres organes de la tige, il y a une *force attractive* qui *appelle* la séve, comme le disent les physiologistes dans leur style métaphorique. D'après cette théorie, on peut facilement expliquer tous les phénomènes qui ont été exposés plus haut, touchant les effets produits sur des mercuriales qui ont perdu, par l'évaporation, une quantité plus ou moins considérable de leurs liquides intérieurs. Lorsque les feuilles de la mercuriale ont perdu, par l'évaporation, une quantité peu considérable de leur partie aqueuse, la densité des liquides contenus dans leurs cellules se trouve augmentée; dès lors, leur endosmose implétive devient plus forte, et par suite l'ascension de la séve par attraction est plus rapide et plus considérable; c'est ce qui a été observé chez la mercuriale qui n'avait perdu par l'évaporation que les 0,15 de son poids. Lorsque les feuilles ont perdu par la dessiccation une quantité assez considérable de leur partie aqueuse, les liquides organiques que contiennent leurs cellules ont perdu leur liquidité, et par conséquent, ne sont plus aptes à déterminer l'exercice de l'endosmose; de plus, la séve lymphatique a cessé d'exister dans les organes qui la contiennent ordinairement, et ceci est une autre cause de l'absence de l'endosmose. Aussi, dans cette circonstance, n'existe-t-il plus d'ascension de la séve; cette ascension sera seulement très-diminuée, si la dessiccation n'a pas privé complétement les liquides organiques de leur liquidité et s'il existe encore un peu de séve lymphatique dans les organes destinés à la contenir. C'est par cette raison que l'ascension de la séve par attraction a été considérablement diminuée et même entièrement anéantie chez la *mercuriale* qui avait perdu par la dessiccation les 0,56 de son poids. On a vu qu'une mercuriale qui avait éprouvé le même degré de dessiccation et qui fut entièrement plongée dans l'eau, reprit complétement son état turgide et sa faculté d'opérer l'ascension de la séve. L'immersion dans l'eau avait rendu une liquidité convenable aux liquides organiques contenus dans ses feuilles; celles-ci avaient également récupéré de la séve lymphatique; dès lors, elles eurent récupéré tout ce qui leur manquait pour l'exercice de l'endosmose implétive des cellules, et par suite pour opérer l'ascension de la séve. Lorsque le tissu des feuilles a été complétement desséché, il n'est plus susceptible de reprendre son état turgide vital, ou sa *fraîcheur* au moyen de l'immersion dans l'eau. Alors le tissu de la feuille s'imbibe complétement d'eau, mais il demeure dans l'état de flaccidité, il ne redevient point turgide et vivant; il ne peut plus alors opérer l'ascension de l'eau ou de la séve. Cela provient évidemment de ce que les liquides organiques contenus dans les cellules ont perdu par la dessiccation complète une qualité qui leur était indispensable pour être aptes à produire l'endosmose. Je soupçonne que ces liquides organiques, complétement desséchés, ne sont plus susceptibles de reprendre leur *liquidité homogène*. C'est effectivement ce qui arrive à beaucoup de liquides organiques, soit végétaux, soit animaux.

Ainsi que je l'ai exposé plus haut, l'exhalation aqueuse des feuilles est un *phé-*

nomène actif; elles ne perdent point leurs liquides, dans l'état naturel, par une évaporation *passive,* comme cela a lieu dans une étoffe mouillée qui se sèche; ils chassent ces liquides au dehors et il les livrent alors à l'évaporation. Cependant lorsque l'action dissolvante de l'atmosphère est très-forte, et que les feuilles n'attirent pas une quantité suffisante de séve lymphatique pour remplacer l'eau qu'elles perdent par la transpiration, elles se fanent et peuvent même se dessécher tout à fait, et cela d'une manière passive, comme le ferait une étoffe mouillée qui se sèche.

En général ce sont les plantes qui possèdent le plus d'oxygène respiratoire dans leurs organes pneumatiques, qui résistent le mieux à l'action desséchante de l'atmosphère. Ainsi une plante qui a végété avec peu de lumière possède, par cela même, peu d'oxygène respiratoire dans ses organes pneumatiques; elle est dans cet état de *demi-asphyxie* et d'altération organique qui porte le nom d'*étiolement*. Une plante de la même espèce, qui a végété avec beaucoup de lumière, possède, par cela même, beaucoup d'oxygène respiratoire dans les organes pneumatiques. Or, ces deux plantes étant soumises à l'influence d'une même température un peu élevée, la première se flétrira, parce que ses feuilles perdront plus d'eau par l'évaporation qu'elles n'en recevront par l'attraction qu'elles exerceront sur la séve lymphatique, tandis que la plante non étiolée conservera l'état turgide de ses feuilles, parce qu'elles attireront proportionnellement plus de séve ou de liquide qu'elles n'en perdront par l'évaporation. Or cette proportion inverse que l'on observe ici entre l'attraction de la séve et l'émanation aqueuse, chez deux individus appartenant à une même espèce, s'observe de même chez des plantes différentes, lesquelles ont sans doute naturellement, entre elles, sous le point de vue de la respiration, des différences analogues, sinon semblables, à celles qui existent entre deux individus d'une même espèce qui ont végété soumis à des degrés de lumière différents. Je citerai pour exemple, ici, deux plantes entre lesquelles on ne soupçonnerait pas l'existence d'une semblable différence; la mercuriale (*mercurialis annua*) et la morelle (*solanum nigrum*). Je cite ces deux plantes entre beaucoup d'autres. Chez la mercuriale, l'attraction de la séve, par les feuilles, est proportionnellement plus forte que leur émanation aqueuse, tandis que le contraire a lieu chez la morelle; ces deux plantes coupées et trempant dans l'eau par l'extrémité inférieure de leur tige, étant soumises à une même température un peu élevée, sans exposition au soleil, la morelle se fane tandis que la mercuriale conserve l'état turgide de ses feuilles. Ces phénomènes ont lieu même lorsque la mercuriale a beaucoup plus de feuilles que la morelle mise en expérience avec elle. Je pris une mercuriale très-branchue qui possédait soixante-quatre feuilles grandes et petites, et je la mis tremper dans l'eau par l'extrémité inférieure de sa tige tronquée. Une morelle, dont la tige était de la même grosseur, et à laquelle je ne laissai que six feuilles de médiocre grandeur, fut disposée de même et les deux plantes furent exposées aux rayons du soleil; au bout d'une heure la morelle était complétement fanée, tandis que la mercuriale n'avait aucunement souffert. Cependant cette dernière, par le nombre et l'étendue de ses feuilles, présentait à l'évaporation une bien plus large surface; mais chez elle la force de l'attraction de chaque feuille, pour l'eau dans laquelle baignait l'extrémité inférieure de la tige, égalait la force qui opérait l'émanation aqueuse ou l'évaporation, en sorte qu'elle conserva l'état turgide de toutes ses feuilles; chez la morelle, au contraire, la force qui, dans chaque feuille, opérait l'attraction de l'eau, était inférieure à celle qui tendait à opérer la déplétion des cellules par l'évaporation des liquides qu'elles contenaient et dès lors les feuilles et la tige de la plante perdirent leur état turgide ou se flétrirent. On sent que, dans cette circonstance, le nombre des feuilles que possède la plante est une condition de nulle valeur pour les résultats de l'expérience; car c'est en vertu de la force d'attraction,

pour l'eau qui lui est propre, que chaque feuille se maintient dans l'état de turgescence cellulaire, et cette force, dans chaque feuille, agit de la même manière pour contre-balancer l'influence des causes qui tendent à la priver de ses liquides. Ces dernières sont d'abord l'exhalation active qui, lorsqu'elle n'est point égalée par l'afflux de la sève attirée, est bientôt remplacée par la simple évaporation; alors les feuilles se fanent et tendent à se dessécher, comme le ferait une étoffe mouillée.

On doit à Hales la découverte de l'influence qu'exerce la lumière sur l'augmentation de l'exhalation aqueuse, ou sur la transpiration des végétaux. Ce n'est pas seulement la lumière directe des rayons solaires qui produit cet effet, c'est également la simple lumière diffuse; or, comme cette dernière ne produit point de chaleur, on ne peut point attribuer à cette dernière cause l'augmentation de la transpiration qu'éprouvent les végétaux, lorsqu'ils sont soumis à l'influence de la lumière. Je me suis attaché à répéter avec beaucoup de soin les expériences qui prouvent que la lumière influe sur la transpiration des végétaux. J'ai fait ces expériences sur des tiges munies de feuilles et qui trempaient dans l'eau par leur partie inférieure coupée; je pesais matin et soir les plantes et les flacons remplis d'eau dans lesquels ces plantes étaient placées; j'appréciais de cette manière la quantité de l'eau qui avait été absorbée, et la quantité de liquide que les plantes avaient perdue par la transpiration, j'ai vu, ainsi que cela est connu, que, pendant le jour, il y avait excès de la transpiration sur l'absorption de l'eau, et que pendant la nuit il y avait, au contraire, excès de l'absorption de l'eau sur la transpiration; en sorte que la plante augmentait de poids pendant la nuit et diminuait de poids pendant le jour. Cependant l'absorption de l'eau tendait toujours à demeurer proportionnelle à la transpiration, en sorte que lorsque celle-ci était forte ou faible, l'absorption de l'eau l'était aussi; mais en suivant ainsi la transpiration dans ses gradations, l'absorption de l'eau lui restait un peu inférieure pendant le jour et lui était un peu supérieure durant la nuit.

Ainsi il faut bien se donner de garde de généraliser l'assertion du Sennebier, suivant lequel l'émanation aqueuse des végétaux serait nulle ou presque nulle dans l'obscurité; cela peut être ainsi lorsque la température est basse et l'atmosphère très-humide; mais lorsque la température est élevée et l'air sec, l'émanation aqueuse des végétaux dans l'obscurité devient assez considérable comme on va le voir. C'est un fait bien connu que celui de l'influence qu'exerce la lumière sur l'ascension de la séve, il y a eu beaucoup d'expériences de faites sur cet objet: deux plantes semblables étant placées l'une à la lumière, l'autre à l'obscurité, la première absorbe beaucoup plus d'eau que la seconde. Hales a expérimenté que dans un temps égal la même plante élevait six fois plus d'eau pendant le jour que pendant la nuit. Sennebier a multiplié ces expériences; il a fait voir que les rameaux garnis de feuilles et trempant dans l'eau par leur extrémité inférieure tronquée, tiraient beaucoup plus d'eau à la lumière qu'à l'obscurité; il a vu que la chaleur obscure influait peu sur cette *succion* de l'eau; il a aperçu que ces résultats variaient suivant l'espèce des plantes, mais il n'a point assez poursuivi ce fait important, ainsi qu'on va le voir par les expériences suivantes.

On sait qu'une plante qui trempe dans l'eau par l'extrémité inférieure et tronquée de sa tige peut se conserver vivante pendant un temps assez long. J'ai conservé ainsi, en été, une mercuriale pendant quarante jours, sans qu'elle produisît de racines. Alors seulement des racines nombreuses apparurent, et dès lors l'ascension de l'eau qu'elle continua d'opérer en vivant pendant plusieurs mois ne dut plus être rapportée à la seule attraction des feuilles, mais aussi à l'impulsion opérée par les spongioles des racines. Cette plante était dans un appartement où elle ne recevait que la lumière diffuse. J'ai voulu expérimenter combien de temps la même plante, la mercuriale, vivrait étant disposée de même, mais placée dans une obscu-

rité complète. J'ai donc placé une de ces plantes sous un récipient opaque, en ayant soin d'accumuler du sable fin autour de la base de ce récipient afin d'intercepter complétement la lumière. Le quatrième jour après le commencement de l'expérience, les feuilles de la mercuriale étaient presque toutes complétement fanées. La température avait varié de + 20 à 24 degrés centésimaux pendant la durée de l'expérience. Les feuilles inférieures ou les plus vieilles étaient presque desséchées, les feuilles supérieures ou les plus jeunes étaient simplement fanées. J'exposai cette plante à la lumière diffuse. Ses feuilles qui n'étaient que fanées reprirent leur état turgide ou leur fraîcheur, les autres ne reprirent point la vie. Ainsi, la mercuriale dont la tige coupée trempe dans l'eau par son extrémité inférieure, peut élever cette eau dans ses feuilles *par attraction*, de manière à entretenir sa fraîcheur et sa vie pendant quarante jours, lorsqu'elle est exposée dans un appartement à la lumière diffuse; tandis qu'à l'obscurité et par une température de + 20 à 24 degrés centésimaux, elle attire si faiblement l'eau dans laquelle trempe l'extrémité inférieure de sa tige, qu'elle se trouve complétement fanée au bout de quatre jours. L'exposition de cette plante fanée à la lumière diffuse rend à celles de ses feuilles qui ne sont point trop desséchées, leur état turgide et avec lui la faculté perdue d'élever l'eau par attraction. J'ai répété un grand nombre de fois cette expérience, et toujours avec le même résultat, tant que la température a été la même. Ce résultat me surprit d'autant plus, que j'avais précédemment reconnu que la mercuriale possédait beaucoup de force pour élever l'eau par attraction. On pouvait penser que les plantes dont la force d'attraction pour l'eau est moindre à la lumière, se faneraient encore plus promptement à l'obscurité. On a vu plus haut que la morelle (*solanum nigrum*) est une de ces plantes chez lesquelles on observe à un faible degré la faculté d'élever l'eau dans ses feuilles par attraction, sous l'influence de la lumière. Je mis une de ces plantes sous un récipient opaque; elle trempait dans l'eau par l'extrémité inférieure tronquée de sa tige. Sous un autre récipient opaque, je plaçai une mercuriale disposée de même. Je plaçai en même temps une autre morelle, disposée de même à la lumière diffuse dans le même appartement. Le quatrième jour écoulé, la mercuriale était fanée. La morelle, placée sous le récipient opaque, était en bon état. Le neuvième jour, la morelle placée à la lumière commença à produire des racines dans l'eau qui baignait l'extrémité inférieure de sa tige; la morelle, placée à l'obscurité, n'en produisit aucune, et cependant elle paraissait toujours en bon état. Ses feuilles commencèrent à jaunir le seizième jour de l'expérience; cet état d'étiolement augmenta les jours suivants; et enfin, les feuilles jaunies furent toutes fanées le vingt-deuxième jour, depuis que la plante était placée à l'obscurité. La température avait varié pendant la durée de cette expérience, de + 20 à 23 degrés centésimaux, dans l'armoire où étaient renfermés les récipients opaques qui couvraient les plantes. Il résulte de ces expériences, que la mercuriale qui, à la lumière, a bien plus de force d'attraction pour l'eau dans laquelle trempe sa tige, que n'en a la morelle placée dans les mêmes circonstances, lui est cependant bien inférieure sous ce point de vue, lorsque l'une et l'autre sont placées à l'obscurité. Ces deux plantes changent, pour ainsi dire, de rôle à l'obscurité; la mercuriale qui, à la lumière, se maintient dans son état de fraîcheur dans des circonstances où la morelle se fane; la mercuriale, dis-je, placée à l'obscurité, se fane promptement, tandis que la morelle, placée dans les mêmes circonstances, conserve longtemps sa fraîcheur; elle ne se fane qu'après avoir jauni, elle meurt d'*étiolement*, c'est-à-dire par suite de l'altération de la composition de sa matière verte. La mercuriale se fane sans avoir changé de couleur, sans étiolement préalable; elle meurt faute de pouvoir attirer dans ses feuilles l'eau dans laquelle baigne l'extrémité inférieure de sa tige; sa

force d'attraction de la séve lymphatique est anéantie.

J'ai placé sous un récipient opaque une mercuriale transplantée *en motte* dans un pot, et qui n'avait aucunement souffert de cette transplantation. Sous le même récipient, je plaçai une autre mercuriale, dont la tige coupée trempait dans l'eau. Chez la première, la séve était élevée à la fois par l'impulsion des spongioles des racines et par l'attraction des feuilles; cette dernière cause d'ascension de la séve existait seule chez la seconde. Celle-ci fut fanée le cinquième jour. La mercuriale plantée dans le pot, s'étiola et ne commença à se faner que le quinzième jour. La température avait varié sous le récipient, de + 19 à 22 degrés centésimaux. J'ai expérimenté qu'une mercuriale, arrachée de terre avec ses racines, et qui, par conséquent, avait perdu ses spongioles [1], étant mise tremper dans l'eau par toute l'étendue de ces racines, ne vécut pas plus longtemps à l'obscurité qu'une autre mercuriale de la même taille, dont la tige coupée trempait dans l'eau. Ainsi, l'étendue de la surface submergée n'exerce aucune influence sur l'ascension de la séve par l'attraction des feuilles. Si donc, la mercuriale plantée dans un pot, a vécu à l'obscurité pendant un temps trois fois plus long que la mercuriale dont la tige coupée trempait dans l'eau, cela provient de ce que les feuilles de la première, privées en grande partie de la faculté d'opérer l'ascension de la séve par attraction, la reçurent par l'impulsion des spongioles des racines, jusqu'à l'époque où les feuilles moururent par étiolement. J'ai répété ces expériences avec diverses autres plantes, qui m'ont fait voir qu'elles possédaient à des degrés très-divers la faculté d'élever l'eau par l'attraction de leurs feuilles dans l'obscurité. La mercuriale et la morelle m'ont paru occuper les deux extrêmes à cet égard. Je puis mettre de même en opposition l'ortie (*urtica dioica*) et le *chenopodium album*, la première pour la briéveté et la seconde pour la longueur du temps pendant lequel ces plantes élèvent l'eau par attraction dans l'obscurité. Ces diverses plantes m'ont donné la confirmation de ce fait général, que les plantes qui, à la lumière, résistent le plus à l'action desséchante de l'atmosphère, sont celles qui, à l'obscurité, y résistent le moins, et réciproquement en renversant la proposition.

Ces expériences prouvent que les deux forces opposées dans leur direction, l'une d'attraction de l'eau, l'autre d'exhalation de l'eau, peuvent exister dans les feuilles avec des proportions relatives diverses, sous la même influence de la lumière. Ainsi, dans les mêmes circonstances de lumière et d'une certaine chaleur, la morelle se fane et la mercuriale conserve la fraîcheur de ses feuilles, ce qui provient de ce que chez la première, l'exhalation l'emporte sur l'attraction de la séve lymphatique, tandis que chez la seconde l'exhalation et l'attraction de l'eau par les feuilles sont à peu près égales. Cette force d'attraction de l'eau, par les feuilles, est quelquefois si minime dans l'obscurité, qu'elle est incapable de faire équilibre à l'action desséchante de l'atmosphère environnante, en sorte que les feuilles se dessèchent, comme cela arrive spécialement aux plantes qui résistent le plus à l'action desséchante de l'atmosphère, lorsqu'elles sont soumises à la lumière. Cela prouve d'une manière irréfragable l'influence énergique que la lumière exerce pour donner lieu à l'ascension de la séve par l'attraction des feuilles. Comment agit la lumière pour donner lieu à l'existence de cette attraction de l'eau, attraction qui disparaît plus ou moins promptement dans son absence? Il est évident que ce n'est point par son action directe qu'elle produit cet effet, puisqu'il subsiste plus ou

[1] La délicatesse extrême des spongioles fait qu'elles sont presque toujours détruites ou fortement altérées lors de l'arrachement d'un végétal. C'est dans la production de nouvelles spongioles que consiste la *reprise* d'un végétal transplanté.

moins longtemps après qu'elle a cessé d'influencer la plante. L'effet direct de la lumière est ici seulement de donner lieu à la production de l'oxygène qui s'introduit dans les organes pneumatiques ou respiratoires des végétaux. C'est donc du fait de la respiration végétale, c'est-à-dire du fait de la fixation de l'oxygène, dans le tissu végétal, que naît l'attraction de la séve lymphatique par ce même tissu. Aussi, malgré l'action de la lumière, la séve lymphatique ne monte-t-elle point du tout, *par attraction,* dans une plante, telle que le *pisum sativum*, qui est placée dans le vide et qui, à raison du peu de capillarité de ses organes pneumatiques, perd, dans cette position, tout l'air que contenaient ces organes. C'est donc indubitablement à la fixation de l'oxygène, qu'est due la force attractive qui *appelle* les liquides, comme le disent les physiologistes dans un langage métaphorique, force qui a été depuis longtemps remarquée chez les animaux, sans qu'on en connût la source. C'était aux végétaux qu'il appartenait de donner, au moins en partie, la solution de ce problème ; je dis *au moins en partie,* car il reste toujours à déterminer quelle est la nature de cette *force attractive.*

L'influence qu'exerce la présence de l'oxygène dans les organes pneumatiques des plantes sur l'attraction de la séve lymphatique par les feuilles, m'a encore été démontrée par l'expérience suivante : J'ai plongé entièrement une tige de pois (*pisum sativum*) dans un bocal plein d'eau, que j'ai soumis à la pompe pneumatique. L'air contenu dans les organes pneumatiques de la plante submergée s'est dégagé sous forme de bulles. Lorsque la pression atmosphérique a été rendue à cette plante submergée dépouillée de son air intérieur, l'eau s'est introduite dans toutes les cavités que l'air avait abandonnées, en sorte que les organes pneumatiques de la tige et des feuilles se sont trouvés entièrement remplis d'eau. Je mis cette plante tremper dans l'eau par la partie inférieure de sa tige, et je l'exposai seulement à la lumière diffuse dans un appartement. Elle n'opéra point d'une manière sensible l'ascension de l'eau par attraction; ses feuilles se flétrirent et elles furent desséchées presque entièrement au bout de quatre jours. Ici, la respiration végétale avait été supprimée par le fait de la soustraction de l'air qui, dans l'état naturel, remplit les organes pneumatiques de la plante; ces organes, alors, se trouvaient remplis d'eau, et ne remplissaient plus par conséquent leurs fonctions respiratoires. La plante *s'asphyxia* comme elle se fût asphyxiée par défaut de production d'oxygène dans l'obscurité. J'ai choisi le *pisum sativum* pour sujet de l'expérience qui vient d'être exposée, parce que j'ai observé que les légumineuses, en général, sont très-faciles à dépouiller, par la pompe pneumatique, de tout l'air contenu dans leurs organes respiratoires. Il est beaucoup de plantes qui résistent très-fortement à cette soustraction complète de l'air ; ce sont celles dont les canaux pneumatiques, possédant une capillarité considérable, retiennent par cela même d'une manière invincible une quantité notable de l'air qu'ils contiennent. Ces plantes, qui sont nombreuses, ne peuvent donc, comme certaines légumineuses, être asphyxiées par la soustraction de l'air de leurs organes respiratoires, au moyen de la pompe pneumatique; car ces organes ne peuvent être entièrement dépouillés de l'air qu'ils contiennent. Aussi, ces plantes conservent-elles dans le vide de la pompe pneumatique la faculté d'élever la séve lymphatique par attraction, faculté que ne possèdent plus en pareille circonstance certaines légumineuses, telles que le *pisum sativum* ou le *phaseolus vulgaris.* Ces plantes meurent en deux ou trois jours dans le vide, tandis que d'autres plantes, telle que la persicaire (*polygonum persicaria*), peuvent y rester jusqu'à six semaines, ainsi que l'a expérimenté M. Théodore de Saussure [1], sans paraître souffrir, pourvu qu'on ne les mette point au soleil, dont la vive lumière et la chaleur provoqueraient une transpiration

[1] Recherches chimiques sur la végét., cap. VI.

hors de proportion avec la faible ascension de l'eau que cette plante opère alors par l'attraction de ses feuilles. J'ai répété cette expérience de M. Théodore de Saussure, et j'ai obtenu les mêmes résultats; mais je n'ai pas eu la patience de conserver cette plante dans le vide pendant plus de trois semaines. Je recommençai cette expérience, en mettant dans l'obscurité une autre persicaire placée dans le vide; elle fut complétement fanée au bout de quatre jours. Ainsi, il est certain que cette plante, dans le vide, devait la continuation de sa vie et de la faculté d'opérer l'ascension de l'eau, à ce que la lumière diffuse à laquelle elle était soumise pendant le jour, développait dans son tissu une petite quantité d'oxygène que le vide ne pouvait lui enlever à cause de la grande capillarité de ses canaux pneumatiques. Au reste, j'ai expérimenté que toutes les plantes qui séjournent pendant quelques jours dans le vide sans y mourir, perdent cependant la vie quand on les replace à l'air libre. Ainsi, par exemple, j'ai expérimenté qu'une persicaire qui pouvait vivre six semaines dans le vide, se flétrit le lendemain du jour où elle en fut retirée après y avoir demeuré six jours seulement, bien qu'elle ne fût exposée qu'à la lumière diffuse dans un appartement, dont la température était à + 15° R.; elle mourut bientôt après.

Il résulte de ces observations, que l'ascension de la séve lymphatique, par l'attraction des feuilles, est nécessairement liée, comme conséquence, au fait de la respiration végétale. Si donc l'expérience fait voir que certaines plantes élèvent pendant assez longtemps la séve lymphatique par attraction dans l'obscurité, tandis que certaines autres plantes, de même dans l'obscurité, n'élèvent cette même séve par attraction que pendant un temps fort court, cela prouve, à mon avis, que les premières sont douées plus que les secondes de la faculté de respirer par le mode de respiration auquel j'ai donné le nom de *subsidiaire* [1], et qui consiste dans l'absorption de l'oxygène atmosphérique pendant l'absence de la lumière. Lorsque cette dernière agit sur les feuilles, elle produit le *mode normal* de la respiration végétale qui consiste dans la production de l'oxygène respiratoire. Or, certaines plantes possèdent plus que certaines autres la faculté de vivre faiblement et pour peu de temps dans l'obscurité, au moyen du *mode subsidiaire* de la respiration; tels sont le *solanum nigrum* et le *chenopodium album*, qui, selon les expériences rapportées plus haut, vivent cinq fois plus longtemps dans l'obscurité que le *mercurialis annua* ou que l'*urtica dioica*. Ces dernières ne peuvent vivre que presque exclusivement au moyen du *mode normal* de la respiration végétale, c'est-à-dire au moyen de la production de l'oxygène sous l'influence de la lumière et de son introduction dans les organes respiratoires. Les plantes qui vivent plus longtemps à l'obscurité, ont des feuilles qui participent en quelque sorte à la nature des corolles, elles peuvent vivre pendant un temps déterminé mais toujours assez court au moyen de la *respiration subsidiaire*, c'est-à-dire au moyen de l'absorption de l'oxygène atmosphérique.

Les fleurs placées à l'obscurité, y vivent autant de temps qu'à la lumière. Comme leur existence est généralement fort courte et qu'elles dépendent pour leur vie de celle des parties vertes qui les supportent, il n'est pas toujours facile de les soumettre à des expériences de ce genre, desquelles il soit possible d'obtenir des résultats exacts. Cependant, voici des faits qui me paraissent concluants. On sait que les fleurs de la reine marguerite (*aster sinensis*) conservent leur vie et leur fraîcheur pendant quinze à vingt jours. Je pris deux de ces fleurs sur une même plante et du même âge, et les mettant tremper dans l'eau par le bas de leur tige, je plaçai l'une à l'obscurité sous un récipient opaque, et l'autre à la lumière sous un récipient de verre. La température était élevée. Au bout de treize jours, cette dernière avait sa fleur complétement fanée, mais ses feuilles et son calice

[1] Voyez le VIIe Mémoire, page 185.

étaient verts. Chez celle qui était à l'obscurité, les feuilles et le calice moururent dès le dixième jour, le réceptacle mourut en même temps et même se pourrit. Cependant, la couronne des demi-fleurons continuait de vivre, quoiqu'elle ne reçût plus du réceptacle que des liquides putréfiés, lesquels eurent bientôt occasionné, chez les demi-fleurons, la mort qui commença par leur base. Cette expérience me prouva que les corolles ne sont point privées, par l'absence de la lumière, de la faculté d'attirer la séve, comme cela a lieu pour les feuilles, ce qui leur donne la faculté de vivre à l'obscurité aussi longtemps qu'à la lumière.

J'ai publié, en 1824, les observations [1] qui m'ont prouvé que la sensitive (*mimosa pudica*), placée à l'obscurité, perd son excitabilité d'autant plus promptement que la température est plus élevée. Dès cette époque, comparant ces résultats avec ceux des expériences qui ont prouvé à M. W. Edwards, que, chez les animaux, l'asphyxie arrive d'autant plus promptement que la température est plus élevée, j'en conclus que la sensitive était véritablement *asphyxiée* par son séjour plus ou moins prolongé à l'obscurité. J'étais loin alors de penser que l'absence de la lumière privât les plantes de leur respiration normale. C'était un simple aperçu par rapprochement de faits que je présentais alors; mes expériences actuelles confirment son exactitude. C'est parce que les plantes cessent de respirer dans l'obscurité, qu'elles cessent d'élever la séve par l'attraction de leurs feuilles; or, leur asphyxie, en pareil cas, arrive d'autant plus tard que la température est plus abaissée. J'ai fait voir plus haut que, par une température de + 20 à 24 degrés centésimaux, il ne faut que quatre jours d'obscurité pour tuer une mercuriale. Or, j'ai expérimenté que cette plante vit pendant quinze jours à l'obscurité, lorsque la température est de + 13 à 16 degrés, en sorte qu'il est prouvé que l'abaissement de la température retarde l'asphyxie de la plante, et prolonge par conséquent le temps pendant lequel elle jouit de la faculté d'élever la séve lymphatique par l'attraction de ses feuilles.

Dans ces diverses expériences, j'ai vu que les jeunes feuilles vivent plus longtemps que les vieilles feuilles dans l'obscurité, ce qui prouve que dans leur jeunesse les feuilles sont plus aptes que dans leur vieillesse, à vivre au moyen du *mode subsidiaire* de la respiration, lequel consiste dans l'absorption de l'oxygène que contient l'atmosphère environnante. J'ai mis une longe tige de *myriophyllum spicatum* dans un bocal plein d'eau que j'ai recouvert d'un récipient opaque. Cette plante aquatique complétement submergée, demeura ainsi dans une obscurité complète pendant quinze jours, par une température qui varia de + 19 à 23° c. La mort des feuilles commença par le bas de la tige et gagna successivement en montant les autres verticilles des feuilles qui jaunissaient par étiolement. Au bout de quinze jours, il ne resta plus de vivant que le sommet de cette tige, sommet dont les feuilles naissantes ne paraissaient point avoir souffert de l'obscurité. Elles vivaient, à ce qu'il paraît, en respirant l'oxygène dissous dans l'eau. C'est, en effet, le *mode subsidiaire* de la respiration végétale qui est généralement le premier mode de respiration des végétaux naissants. Ce n'est qu'au moyen de ce seul mode de respiration, que vivent et se développent d'abord les embryons séminaux soustraits, dans l'intérieur des graines, à l'influence de la lumière. On sait, en effet, que la germination n'a lieu ni dans le vide, ni dans un gaz impropre à la respiration. Or, il en est de même des *embryons gemmaires* contenus dans les bourgeons. M. Théodore de Saussure a constaté, en effet, que les bourgeons à feuilles et à fleurs ne se développent ni dans le vide, ni dans les atmosphères d'acide carbonique, d'azote ou d'hydrogène. Le même observateur a vu, il est vrai, une persicaire (*poly-*

[1] Ces observations sont reproduites dans mon XIe Mémoire intitulé de l'*excitabilité végétale et des mouvements dont elle est la source.*

gonum persicaria) s'allonger de plusieurs pouces dans le vide où elle était restée six semaines, ainsi que je l'ai rapporté plus haut; mais, quoiqu'il ne le dise pas, cet allongement n'était dû qu'à l'*élongation intermédiaire* des mérithalles déjà formés, que possédait la plante au moment où elle fut mise dans le vide. C'est ce que j'ai vu en répétant cette expérience; le bourgeon terminal de la tige ne se développe point. Au sujet de cette élongation des mérithalles de la persicaire dans le vide, je ferai remarquer que c'est généralement la diminution de la respiration qui occasionne cette élongation extraordinaire. On sait combien s'allongent les mérithalles des plantes étiolées, et par conséquent privées en partie de leur respiration normale. J'ignore quel est le lien qui unit ces deux faits.

Il faut, en général, que les canaux qui conduisent la séve soient dans l'état de vie pour qu'ils soient aptes à remplir cette fonction. Cependant lorsqu'ils sont frappés de mort dans une partie de leur étendue, ils conduisent encore un peu la séve lymphatique, ainsi que me l'ont prouvé les observations suivantes. Lorsqu'une affection chancreuse a frappé de mort la partie moyenne d'une branche de poirier, arbre qui est fort sujet à cette maladie, la partie supérieure de la branche reste vivante pendant un temps plus ou moins long, et elle reçoit la séve ascendante qui lui est transmise au travers de la partie chancreuse qui est complétement morte et noire, mais non desséchée. Cependant cette transmission de la séve lymphatique tarde peu à être complétement interrompue, et la branche située au-dessus du chancre se dessèche. J'ai vu cette même ascension temporaire de la séve ascendante s'effectuer au travers d'une tige morte dans l'expérience suivante: je mis une mercuriale tremper, par l'extrémité inférieure de sa tige, dans de l'eau qui contenait $\frac{1}{44}$ de son poids d'acide sulfurique concentré; ce liquide acide absorbé par la tige, la frappa de mort partout où il pénétra; au bout de quatre jours il avait pénétré jusqu'à une hauteur de huit pouces; dans toute cette étendue la tige était devenue molle et de couleur jaune, elle était bien certainement morte; or, elle ne cessait pas de transmettre en montant le liquide acide; les feuilles qui avaient conservé leur vie et leur fraîcheur, avaient continué, par cela même, d'attirer l'eau contenue dans la partie supérieure de la tige et par suite le liquide acide contenu dans le vase inférieur. Cette ascension avait lieu indubitablement par les canaux ordinaires que suit en montant la séve lymphatique, canaux qui avaient conservé une intégrité suffisante pour remplir cette fonction par rapport à laquelle ils étaient complétement *inertes*; cette ascension du liquide acide diminua tous les jours de quantité, ainsi que je m'en assurai en pesant séparément, chaque jour, la plante et le vase qui contenait le liquide acide. Le premier jour l'absorption fut de 156 grains, et la transpiration de 154 grains; le second jour l'absorption ne fut plus que de 70 grains, et la transpiration, moins diminuée proportionnellement, fut de 114 grains; l'absorption diminua encore plus les jours suivants, car elle ne fut plus que de 42 grains le troisième jour, et de 36 grains le quatrième jour, et cependant la transpiration s'abaissait, dans ces mêmes jours, à 80 et à 64 grains. Ainsi l'ascension du liquide acide avait lieu dans l'intérieur de la tige frappée de mort, mais cette ascension éprouvait une diminution graduelle.

La température extérieure a une influence très-marquée sur l'ascension de la séve; cette ascension suspendue, pendant l'hiver, recommence au printemps et alors elle a lieu, très-spécialement, *par l'impulsion* qui a son siége dans les spongioles des racines, car l'absence des feuilles doit rendre nulle l'ascension de la séve *par attraction*. Ce fait de l'influence de la température, sur l'ascension de la séve, prouve que cette cause augmente la force de l'endosmose implétive dans les cellules des spongioles des racines. J'ai démontré, en effet, par des expériences décisives, que l'augmentation de la température augmente la force de l'endosmose. Cela explique donc très-bien la force d'impul-

sion considérable qui opère l'ascension de la séve lymphatique au printemps. Alors cette séve, fortement poussée des racines dans la tige, envahit tous les organes creux et remplit tous les tubes pneumatiques qu'elle occupe alors d'une manière accidentelle. Dans l'été, cette force d'impulsion éprouve une diminution très-notable; alors la séve lymphatique n'est plus chassée au dehors par les plaies faites au bois de la vigne; elle n'existe plus dans les tubes pneumatiques qui sont alors remplis d'air; cependant la séve continue de monter avec une très-grande abondance; mais c'est spécialement par l'attraction des feuilles que s'opère cette ascension. La cause de la diminution qu'a éprouvée l'impulsion de la séve, par les spongioles des racines, paraît assez facile à déterminer. Cette force d'impulsion reconnaît pour cause l'endosmose implétive des cellules des spongioles, dans lesquelles existe un liquide organique dense. Or, l'introduction continuelle de l'eau diminue la densité de ce liquide, et diminue ainsi graduellement la force de l'endosmose implétive et, par suite, la force de l'impulsion de la séve. Ce liquide dense s'était accumulé dans les spongioles pendant l'hiver; son existence dans ces organes est nécessaire au printemps pour déterminer leur endosmose implétive et l'ascension de la séve *par impulsion*, car la plante dépourvue de feuilles n'a point encore d'organes pour opérer l'ascension de la séve *par attraction*, il faut nécessairement alors une impulsion pour la faire monter. Lorsque les feuilles sont développées, l'attraction pour la séve, dont elles deviennent le siége, opère l'ascension de ce liquide et supplée à l'impulsion des spongioles des racines, impulsion qui diminue insensiblement et qui finit par cesser d'exister; c'est alors que les bourgeons terminaux des jeunes branches des arbres cessent de se développer; ils deviennent stationnaires et s'enveloppent d'écailles. C'est au commencement ou dans le courant de l'été que cela arrive, c'est-à-dire au plus tôt, pour certains arbres, vers la moitié du mois de juin, et au plus tard, pour certains autres arbres, au commencement du mois d'août; alors la séve cesse d'être épanchée entre le bois et l'écorce, et ces deux parties ne peuvent plus se séparer. Cet arrêt du développement de l'extrémité supérieure des branches, s'accompagne souvent d'un phénomène qui a été noté pour la première fois par H. Cassini [1]; ce phénomène est celui de la *décurtation* ou de la mort de la partie terminale de la branche en développement, partie terminale qui est alors extrêmement grêle et qui se dessèche. M. Vaucher [2] considère avec raison cette décurtation, comme le résultat de la diminution de l'ascension de la séve. Cependant alors la séve monte en abondance pour réparer la perte énorme de liquide que fait l'arbre par la transpiration que favorise la chaleur; mais cette ascension de la séve ne s'opère plus, à ce qu'il paraît, que par la seule attraction des feuilles. Or, dans ce mode d'ascension, la séve ne se porte que là où elle est attirée, c'est-à-dire dans les feuilles; elle ne se porte point dans les bourgeons dont les feuilles rudimentaires ne l'attirent point encore, et qui ne peuvent recevoir que par impulsion cette séve qui doit servir à leur développement. C'est en effet un phénomène presque général que les plantes ne développent leurs bourgeons que lorsqu'elles ont des racines, c'est-à-dire lorsque ces bourgeons reçoivent la séve lymphatique par impulsion. Le développement de la radicule précède ordinairement celui de la plumule chez les embryons séminaux; j'ai observé que les plantes dont la tige coupée trempe dans l'eau par sa partie inférieure et qui, par conséquent, n'élèvent la séve lymphatique que par l'attraction de leurs feuilles, ne développent jamais leurs bourgeons tant que la partie

[1] Dans son mémoire sur la graminologie qui a été publié dans le Journal de physique en 1820.

[2] Mémoire sur la séve d'août. Dans les Mémoires de la Société de phys. et d'hist. nat. de Genève, t. 1er.

immergée de leur tige ne produit point de racines ; ce n'est que lorsqu'il s'est développé des racines que les bourgeons se développent aussi. Avant l'apparition des racines, ces plantes, chez lesquelles la séve lymphatique ne monte que par l'attraction des feuilles, développent seulement leurs parties qui ont déjà été produites au dehors ; leurs mérithalles s'accroissent en longueur, leurs feuilles augmentent leurs dimensions ; mais, je le répète, aucun de leurs bourgeons ne donne le jour à des parties nouvelles. L'évolution des parties renfermées dans les bourgeons, ne s'opérant qu'au moyen de la séve lymphatique qui leur est envoyée par l'impulsion des spongioles des racines, on conçoit que leur évolution doit s'arrêter lorsque s'arrête l'ascension de la séve lymphatique par impulsion au commencement de l'été. Alors, les bourgeons terminaux cessent de se développer, et leurs feuilles rudimentaires se changent en écailles ; d'autres fois, ces bourgeons ne développent que des tiges extrêmement grêles sous l'impulsion très-affaiblie de la séve lymphatique ascendante ; ces tiges naissantes et imparfaitement alimentées par la séve, ne pouvant résister à l'action desséchante de l'atmosphère, sont frappées de mort et elles se détachent. C'est le phénomène de la *décurtation;* c'est vers le milieu du mois de juin, que cette décurtation arrive chez le charme (*carpinus betulus*), chez le châtaignier (*fagus castanea*), et chez le chêne (*quercus robur*). La partie enlevée par la décurtation est assez longue chez les deux premiers arbres, elle est très-exiguë chez le troisième. Chez le hêtre (*fagus sylvatica*) il n'y a point de décurtation, le bourgeon terminal cesse de se développer et s'enveloppe d'écailles vers la fin du mois de juin. Cette végétation suspendue ne tarde pas beaucoup à reprendre. On peut penser que, pendant sa suspension, la séve élaborée descendante restitue aux spongioles des racines les liquides denses qu'elles avaient perdus, en sorte qu'elles redeviennent susceptibles d'opérer une endosmose impulsive de la séve lymphatique ; cela a lieu environ dix à quinze jours après la suspension de la végétation. Ainsi, les bourgeons du hêtre qui sont devenus stationnaires dans la dernière moitié du mois de juin, reprennent leur végétation vers le 6 ou le 8 juillet ; le chêne dont la décurtation a eu lieu vers la moitié de juin, commence environ dix jours après à développer celui de ses bourgeons latéraux que la décurtation a rendu terminal. Alors l'écorce redevient facile à séparer du bois par le fait d'un nouvel épanchement de la séve entre ces deux parties. Cet épanchement avait eu lieu au printemps, sous la seule action de la séve lymphatique élevée par l'impulsion des spongioles des racines ; il paraît évident que le second épanchement reconnaît la même cause. On désigne généralement sous le nom de *séve d'août*, cette seconde ascension par impulsion de la séve lympathique, apte à provoquer le développement suspendu des bourgeons ; l'observation prouve qu'on devrait plutôt l'appeler *séve de juillet*. Cette *seconde séve par impulsion* a une durée variable. Ainsi, j'ai observé que chez le hêtre le développement des bourgeons terminaux qui a recommencé vers le 6 juillet, cesse de nouveau d'avoir lieu dans les premiers jours d'août. Alors les bourgeons s'enveloppent d'écailles et prennent définitivement leur *état d'hibernation*. Le chêne chez lequel le développement des bourgeons a recommencé vers le 25 juin, met fin de nouveau à ce développement vers le 10 juillet par une seconde décurtation. Ordinairement c'est alors que ses bourgeons terminaux prennent leur *état d'hibernation* qui est très-hâtif ; mais chez les jeunes arbres de cette espèce, dont la végétation est vigoureuse, il y a une seconde reprise de la végétation ou une *troisième séve* qui a lieu dans le mois de septembre, et qui s'arrête pour la dernière fois dans le mois d'octobre. Ainsi, les scions de l'année chez les jeunes chênes présentent trois parties différentes d'aspect et dont le développement est dû à la succession de *trois séves*, savoir : celle du printemps, celle de l'été et celle de l'automne. Il y a des arbres qui n'ont que la seule *séve du printemps*, dont les effets sur le dévelop-

pement des bourgeons terminaux se font sentir plus ou moins longtemps. C'est ce qui a lieu, par exemple, chez le pommier et le poirier. Chez ces deux arbres, la *séve du printemps* s'arrête ordinairement au commencement d'août, et n'est point suivie par un *seconde séve ;* les bourgeons terminaux prennent alors leur *état d'hibernation*. Cependant, chez les scions vigoureux des arbres soumis à la taille, le développement des bourgeons terminaux ne s'arrête qu'à l'approche de l'époque où toute végétation est nécessairement suspendue. Chez le merisier (*prunus avium*), il n'y a de même qu'une seule sève qui, ordinairement, s'arrête vers la fin de juin, et qui, chez les arbres dont la végétation est vigoureuse, ne s'arrête que dans les premiers jours d'août. Cette première séve n'est point suivie d'une seconde. C'est même en vain que j'ai tenté de provoquer, chez cet arbre, le développement des bourgeons terminaux devenus stationnaires par l'expérience suivante : Je choisis un merisier, dont les bourgeons terminaux étaient devenus stationnaires dès la fin de juin. Au commencement d'août, je fis ôter toutes les feuilles de ce merisier, pour voir si les bourgeons se développeraient pour en produire de nouvelles. Le mois d'août fut très-pluvieux cette année-là, ce qui était une condition favorable pour le développement végétatif que j'attendais; mais ce fut en vain : les bourgeons du merisier dépourvu de feuilles, demeurèrent stationnaires, ils ne développèrent point de nouvelles feuilles; ils conservèrent cet état d'hibernation jusqu'au printemps suivant, et ce ne fut ainsi qu'après avoir été privé de ses feuilles pendant environ huit mois, que le merisier soumis à cette expérience en produisit de nouvelles. La chaleur et l'eau, ces deux grands mobiles de l'action végétative, ne manquèrent cependant point à cet arbre pendant les mois d'août, de septembre et même d'octobre. Si donc, cette action végétative ne s'est point manifestée, cela paraît provenir de ce que la séve avait cessé de monter par l'impulsion des racines; elle ne montait point non plus par l'attraction des feuilles, puisqu'elles avaient été enlevées, en sorte que chez cet arbre la séve paraissait ne plus monter. Ce défaut absolu d'ascension de la séve prouve bien évidemment ici qu'avant l'enlèvement des feuilles, la séve ne montait que par la seule attraction de ces organes, et que, par conséquent, l'ascension de la séve par impulsion des spongioles des racines, était suspendue, ce qui coïncidait avec le défaut de développement des bourgeons. Il n'y a donc point lieu de douter que ce ne soit exclusivement sous l'influence de l'impulsion de la séve par les racines, que les bourgeons se développent. Cela apprend pourquoi ce sont les bourgeons terminaux des branches qui se développent les premiers et avec le plus de vigueur. Ce sont eux, en effet, qui reçoivent le plus directement l'effet d'impulsion de la séve ascendante poussée vers le haut par les racines. Les bourgeons latéraux et surtout ceux qui occupent le bas des scions, demeurent souvent stationnaires, parce qu'ils ne reçoivent qu'obliquement cette impulsion de la séve qui monte spécialement par le centre du scion, centre dont les bourgeons latéraux supérieurs sont plus voisins que ne le sont les bourgeons latéraux inférieurs. Il arrive quelquefois que des arbres, dont les bourgeons sont devenus stationnaires dans le courant de l'été, pendant lequel la sécheresse aura été grande, éprouvent pendant un automne pluvieux un retour de la végétation, qui occasionne le développement des fleurs qui n'auraient dû se développer qu'au printemps suivant. C'est ainsi que l'on voit quelquefois les amandiers, les pommiers et d'autres arbres de nos jardins, se couvrir de fleurs en automne. Ce phénomène, qui n'est point dans l'ordre de la nature, provient indubitablement de ce que le mouvement ascensionnel de la séve lymphatique par l'impulsion des spongioles des racines, s'est accidentellement rétabli et a opéré ainsi en automne le développement des bourgeons à fleurs, qui devaient demeurer stationnaires jusqu'à l'ascension de la séve par impulsion des racines au printemps.

C'est dans les feuilles que s'élabore la *séve nutritive* qui, de là doit être distri-

buée à toutes les parties inférieures du végétal jusqu'aux racines. Cette séve, préparée ainsi dans les parties les plus élevées du végétal, doit nécessairement avoir un mouvement descendant. Il me reste à rechercher les causes de ce mouvement. Ici, on ne voit point d'organes qui exercent une attraction évidente sur cette séve élaborée, comme cela a lieu pour la séve lymphatique; mais on aperçoit qu'elle obéit comme elle à une impulsion, mais qui a lieu en sens inverse, c'est-à-dire de haut en bas. Cette impulsion se manifeste dans la formation des *bourrelets*, qui se développent à la partie supérieure d'une décortication annulaire. La formation de ces bourrelets atteste que la séve élaborée qui les nourrit, vient d'en haut et descend. Ce mouvement descendant de la séve élaborée est sans doute favorisé par l'action de la pesanteur, mais cette cause de progression descendante n'agit pas seule; car la formation des bourrelets descendants a lieu de même dans une branche horizontale, et même, ainsi que je l'ai expérimenté, dans une branche dont le sommet est maintenu, dirigé vers la terre, en sorte que le mouvement de la séve élaborée est ici devenu ascendant. Il existe donc certainement une impulsion qui meut la séve élaborée du haut vers le bas du végétal, et il n'y a pas lieu de douter que le siége de cette impulsion ne soit dans les feuilles. Il est très-probable que c'est l'endosmose des cellules des feuilles, qui produit cet effet. Ces cellules, sans cesse remplies avec excès par l'afflux de la séve lymphatique, expulsent par cela même une partie du liquide élaboré qu'elles contiennent, et le chassent soit vers le dehors, pour former la *transpiration active*, soit vers le dedans, pour former le courant de la séve élaborée descendante qui parvient jusque dans les racines, pour fournir les matériaux de leur accroissement et pour donner aux cellules des spongioles les liquides denses qui leur sont nécessaires, pour introduire par endosmose l'eau qui baigne extérieurement les racines, et pour lui communiquer ensuite une impulsion qui la dirige vers les parties supérieures du végétal.

J'ai parlé de l'action de la pesanteur comme ayant une influence sur le mouvement descendant de la séve élaborée; il est une autre cause extérieure qui a aussi de l'influence sur le mouvement et sur la distribution de ce fluide; cette cause est l'agitation des tiges par le vent. M. Knight a expérimenté, en effet, qu'en rendant tout à fait immobile une partie de la tige d'un jeune arbre, au moyen d'un étai solide, cette partie immobile prenait moins d'accroissement en grosseur que la partie libre de cette même tige, qui pouvait être agitée par le vent. M. Knight a conclu de cette observation, que l'agitation des végétaux par le vent est une des causes de la progression de la séve. Effectivement, on conçoit que les mouvements de flexion des parties du végétal doivent occasionner des compressions locales, lesquelles ne peuvent manquer d'imprimer du mouvement aux liquides contenus dans ces parties. On sait combien les mouvements de locomotion des animaux ont d'influence sur la rapidité de la progression de leurs liquides intérieurs; les végétaux, qui ont peu de mouvements spontanés, trouvent un supplément à ce qui leur manque à cet égard, dans l'agitation de leurs parties mobiles par le vent. C'est, en quelque sorte, leur manière de *prendre de l'exercice*.

§ III. *Des mouvements du latex.*

Il y a soixante ans que Corti, professeur de physique à Reggio, découvrit la circulation qui s'opère dans plusieurs espèces de chara [1]. Ce phénomène fut étudié de nouveau par Fontana, qui, sans déterminer la cause de ce mouvement circulatoire, vit bien qu'il ne dépendait pas de l'*irritabilité* de la plante. Depuis, ce phénomène cessa d'être étudié. Ce n'est que dans ces derniers temps, que l'attention des savants a été de nouveau appelée sur ce phéno-

[1] Microscopiche osservazioni, lettera sopra la circolazione della seva nelle piante.

Voyez aussi la lettre de Corti au comte Paradisi,

mène singulier par M. Amici. Cet observateur enseigna la manière d'apercevoir avec facilité la circulation dans le *chara vulgaris* [1]. Cette plante est recouverte en dehors par un enduit calcaire opaque qu'il faut enlever en le grattant avec un instrument tranchant. Cet enduit enlevé, la tige de la plante devient transparente, et l'on observe facilement la circulation des liquides qu'elle contient. L'absence de cet encroûtement calcaire chez le *chara flexilis*, rend la circulation plus facilement apercevable dans cette plante ; cette circulation s'effectue dans le liquide que contient la cavité tubuleuse qui occupe le centre de chacun des mérithalles de cette plante aquatique. Ce liquide, mêlé de granules, monte en suivant l'une des parois intérieures du tube végétal, et il descend en suivant la paroi opposée, en sorte que c'est dans le même canal tubuleux que s'opère ce singulier mouvement circulatoire, que certains observateurs ont tenté d'expliquer par la comparaison d'un mouvement circulatoire analogue qui s'observe dans les liquides contenus dans des tubes de verre verticaux. Chez ces derniers, on voit effectivement le liquide monter, en suivant une des parois intérieures du tube, et descendre en suivant la paroi intérieure opposée; double courant, qui est dû à l'action de la chaleur, laquelle agit d'une manière inégale sur les deux côtés opposés du tube [2]; mais ce n'est point ainsi que s'opère le mouvement circulatoire dans les cavités tubuleuses des *chara*. D'abord, ces cavités tubuleuses n'ont point besoin d'être verticales, pour que le mouvement circulatoire ait lieu dans leur intérieur; en second lieu, ce mouvement a lieu non en ligne droite, comme dans les tubes de verre, mais en spirale en suivant la direction de certaines lignes en spirale, qui sont marquées sur le mérithalle tubuleux de la plante. Ainsi, il ne paraît exister aucune analogie entre ce mouvement circulatoire et celui qui s'observe dans les tubes de verre verticaux ; sa cause est tout à fait inconnue. Il est chez les végétaux un autre mouvement circulatoire des liquides, c'est celui qui a été découvert par le docteur Schultz dans le suc laiteux, ou plus généralement dans le *latex* des plantes. Les deux directions opposées qu'affecte le mouvement de ce liquide, ont lieu dans des canaux spéciaux et non dans un seul et même canal, ainsi que cela a lieu pour le liquide contenu dans les cavités tubuleuses des *chara;* ainsi ces deux phénomènes ne sont point comparables. Entre les canaux d'ascension et ceux de descente du latex, existent des canaux transversaux de communication, par le moyen desquels ils s'établit dans ces canaux une circulation non pas générale, mais partielle et multiple à la fois, en sorte qu'il y a une multitude de circuits. J'ai douté quelque temps de la réalité de ce mouvement, mais je me suis enfin convaincu de son existence. Je l'ai vu, par exemple, de la manière la plus évidente dans les stipules du *ficus elastica,* mais je n'ai pu parvenir à l'apercevoir chez la grande chélidoine (*chelidonium majus*), plante chez laquelle M. Schultz a d'abord annoncé l'existence de ce mouvement circulatoire du suc laiteux ou du *latex*. Je rapporterai ici les observations et les expériences que j'ai faites sur les mouvements du suc jaune dans cette dernière plante, et je me bornerai là ; je m'abstiendrai de parler avec plus de détail du mouvement circulatoire du latex chez les autres plantes, qui ont offert à M. Schultz ce phénomène que je n'ai point assez étudié.

M. Schultz [3] ayant soumis au microscope des feuilles de grande chélidoine et ayant dirigé dessus les rayons solaires à l'aide de la réflexion du miroir, aperçut un mouvement très-vif de trépidation dans

insérée au Journal de physique de l'abbé Rozier, septembre 1776.

[1] Annales des Sciences naturelles, 1824.

[2] Voyez mon Mémoire sur la circulation de l'eau dans les tubes de verre; il est imprimé dans les Annales de physique et de chimie, t. XLVIII, p. 268.

[3] Le mémoire de M. Schultz a été traduit en français et inséré, par M. Jourdan, aux tomes XVI et XVII du *Journal complémentaire* du Dictionnaire des sciences médicales.

les nervures demi-transparentes de ces feuilles. Il lui parut que ce mouvement avait son siége dans le suc jaune contenu dans les vaisseaux de la plante. Ce suc, comme tous les liquides laiteux, est composé des globules nombreux qui nagent dans un liquide aqueux. Ces globules tremblotants parurent à M. Schultz se mouvoir dans deux directions opposées, en sorte qu'il paraissait exister dans chaque nervure de la feuille un courant ascendant et un courant descendant. D'après cette assertion, le suc jaune de la grande chélidoine serait soumis à une sorte de circulation dont la rapidité serait très-considérable. L'importance de ce fait nouveau en physiologie végétale le rendit l'objet de l'étude de plusieurs habiles observateurs. Rudolphi répéta les observations du docteur Schultz et les trouva exactes. Reichenbach ne vit aucun mouvement dans la chélidoine observée pendant le mois de février et par un temps assez chaud, mais il aperçut ce mouvement en comprimant la feuille entre deux lames de verre. Linck admit sans restriction ces assertions du docteur Schultz; il crut voir, dans le suc jaune de la chélidoine, un mouvement progressif dans deux sens opposés et un mouvent moléculaire d'attraction et de répulsion, dont les alternatives produisaient la trépidation que le docteur Schultz avait observée. Il pensa que l'électricité pouvait être la cause de ces attractions et de ces répulsions moléculaires. Le docteur Tréviranus reprit ces observations. Les chélidoines qu'il observa pendant les mois de mars et d'avril, et par une température de 16 à 18 degrés R., ne lui firent apercevoir aucun mouvement même en comprimant la feuille entre deux lames de verre; il attribua le mouvement de trépidation observé par Schultz et par d'autres observateurs, à l'écoulement du suc jaune dans ses canaux inclinés et ouverts par la section de la feuille. Les globules coulant les uns sur les autres quand le suc s'écoule, donnent lieu à une multitude de réfractions des rayons lumineux, et c'est de là que provient, selon lui, le mouvement de trépidation que l'on aperçoit alors.

Dès que je connus les observations de M. Schultz, je m'empressai de les répéter, et je ne tardai pas à acquérir la certitude que la prétendue circulation aperçue par cet observateur, chez la grande chélidoine, n'était, dans le fait, qu'une trépidation rapide des innombrables globules que contient le liquide laiteux, trépidation qui n'a lieu que par l'effet des rayons solaires, qui n'est jamais produite par la lumière diffuse même la plus vive, et qui offre à l'œil l'image trompeuse d'un courant.

C'est pendant l'été spécialement qu'il faut observer les feuilles de la grande chélidoine pour voir le phénomène découvert par M. Schultz. Les rayons du soleil étant dirigés sur une feuille de cette plante soumise au microscope et que l'on observe par transparence, on voit un mouvement de trépidation très-vif dans l'intérieur des nervures, et on croit y voir en même temps un courant d'une grande rapidité. Ces nervures contiennent beaucoup de tubes remplis par le suc jaune de la plante, en sorte qu'il semble que c'est ce suc qui est animé d'un mouvement de progression très-rapide. Ce phénomène que l'on voit dans les feuilles qui tiennent à la plante enracinée, comme dans les feuilles qui en sont détachées, ne cesse de se montrer que lorsque ces feuilles sont complétement fanées; il existe encore dans les feuilles à demi flétries. Je l'ai observé dans une feuille cueillie depuis deux jours et abandonnée à la dessiccation à l'air libre.

Le mouvement de trépidation et d'apparence de courant dont il est ici question offre un phénomène très-remarquable; il est souvent intermittent. La nervure illuminée qui offre ce mouvement, présente souvent tout d'un coup le spectacle d'une complète immobilité, laquelle dure tout au plus un quart de seconde; ensuite le mouvement recommence. Ce phénomène a été vu et noté par M. Schultz, et je l'ai vu, comme lui, un grand nombre de fois. L'existence du courant dont il est ici question n'est point aussi évidente que l'est celle du courant circulatoire dans

les vaisseaux des parties transparentes des animaux. Chez ces derniers on voit les globules sanguins se mouvoir, et l'œil suit chacun d'eux dans toute l'étendue du trajet qu'il parcourt dans le champ du microscope. Cette observation, faite avec la lumière diffuse, ne peut laisser le moindre doute dans l'esprit de l'observateur; il n'en est pas de même de l'observation du courant que l'on croit apercevoir dans l'intérieur des nervures des feuilles de la grande chélidoine; ce courant ne s'aperçoit qu'en illuminant la feuille avec les rayons solaires, et encore ne le voit-on pas toujours, car la plupart du temps on ne voit qu'un mouvement confus de trépidation, mouvement qui se manifeste également dans le suc jaune extravasé recueilli sur une lame de verre et éclairé par transparence avec les rayons solaires. Quelque vive que soit la lumière diffuse, elle ne fait apercevoir aucun mouvement, ni dans les nervures de la feuille de chélidoine, ni dans son suc jaune extravasé. J'ai placé une feuille de chélidoine sur une lame de verre dépolie, et j'ai dirigé les rayons solaires sous cette lame de verre au moyen du miroir du microscope; par ce moyen la feuille de chélidoine était illuminée d'une manière très-vive, mais avec une lumière diffuse; or, ses nervures, même les plus transparentes, ne présentaient aucune apparence de trépidation ni de courant de liquide. J'ai divisé une nervure de feuille de chélidoine par deux sections transversales fort rapprochées; le mouvement de trépidation et l'apparence d'un courant ont continué d'avoir lieu dans ce tronçon de nervure, et ce mouvement ne cessa point de se manifester pendant une longue observation. Cette considération doit faire penser que le mouvement qui se manifeste dans le liquide jaune de cette plante, lorsqu'on l'observe au microscope, avec la lumière solaire, est un résultat de l'action de cette lumière ou de la chaleur qu'elle produit. En effet, déjà M. Amici s'est aperçu qu'en approchant un fer chaud de la plante en observation, on rend plus sensible l'existence du courant que l'on aperçoit dans ses parties transparentes; il a même vu que le courant est toujours dirigé vers le point opposé à celui d'où l'on approche le corps échauffant. Ce fait prouve incontestablement que le mouvement qui existe alors dans le liquide végétal est, non le résultat de l'accomplissement d'une action physiologique, mais le résultat de l'influence d'une cause physique extérieure. L'expérience suivante achève de démontrer cette vérité : J'ai pris un tube de verre tiré à la lampe, n'ayant environ qu'un demi-millimètre de diamètre; j'ai introduit dedans une petite quantité de suc jaune de la grande chélidoine; l'étendue que ce liquide occupait dans le tube ne dépassait pas l'étendue du champ du miscroscope auquel le tube fut soumis, éclairé par les rayons solaires et flanqué de deux corps opaques afin que l'œil ne fût pas blessé par les rayons lumineux. Le suc jaune de la chélidoine présenta à l'instant l'image d'un courant très-rapide, et cependant ce liquide, dont je voyais les deux limites extrêmes, ne changeait point de place dans le tube; j'interceptai avec un écran la lumière solaire qui tombait sur le miroir réfléchissant, et le tube ne fut plus éclairé que par la lumière diffuse; tout mouvement disparut dans le suc jaune, et il reparut avec l'emploi nouveau des rayons solaires.

Je fus curieux de voir si l'on apercevrait ce même mouvement de trépidation au microscope solaire; dans ce mode d'observation, les rayons du soleil frappent l'objet observé; la feuille de chélidoine observée par ce moyen devait donc probablement offrir le phénomène de trépidation qui est déterminé chez elle par l'action des rayons solaires. Cependant le résultat ne fut point conforme à cette induction, aucun mouvement ne parut dans les nervures de la feuille qui, située au foyer de la grande lentille du microscope, était promptement brûlée; pour obvier à cet inconvénient, j'enduisis la feuille avec de l'huile; dans cet état elle demeura en observation, au microscope solaire, sans se brûler, et elle continua à montrer la même absence de tout mou-

vement de trépidation. Cependant ce mouvement se voyait, dans cette même feuille huilée, en l'observant au microscope ordinaire et avec les rayons solaires, il me paraît probable que c'est à la forte chaleur qu'éprouvait la portion de feuille soumise aux rayons concentrés par la grande lentille du microscope solaire qu'il faut attribuer l'absence du phénomène.

Voyant qu'une extrême chaleur abolissait le mouvement de trépidation moléculaire, dans les feuilles de la grande chélidoine, je soupçonnai que le froid produirait le même effet. Pour m'en assurer j'attendis les premières gelées; un matin le thermomètre étant descendu à — 1 degré R., je cueillis des feuilles de chélidoine encore couvertes de gelée blanche. Les ayant soumises au microscope éclairé avec les rayons solaires, je ne vis dans le plus grand nombre de leurs nervures que la plus parfaite immobilité; quelques-unes de ces nervures, seulement, offraient encore ce mouvement de trépidation, mais il était beaucoup plus intermittent qu'à l'ordinaire; j'ai vu une de ces nervures dont le milieu seul offrait le mouvement de trépidation, les deux parties latérales étaient réduites à l'immobilité; j'aperçus le mouvement de trépidation dans deux nervures qui partaient par bifurcation d'une grosse nervure dans laquelle ce mouvement n'existait pas. Ces observations fournissent de nouvelles preuves contre l'hypothèse des deux courants, l'un ascendant et l'autre descendant, du suc jaune. Quelques jours après, le thermomètre étant descendu à — 2 degrés, je ne trouvai plus aucune trépidation dans les feuilles de la chélidoine; ce fut en vain que je les soumis à une température constante de + 7 à 8 degrés, elles ne récupérèrent point la faculté de présenter le mouvement de trépidation par l'action des rayons solaires; une chélidoine qui avait été un peu garantie de l'influence de la gelée par un abri m'offrit une trépidation faible et intermittente; mais toutes celles qui avaient subi, sans obstacle, l'action du froid de — 2 degrés, cessèrent complétement d'offrir le phénomène de la trépidation; cette interruption du phénomène dura pendant l'hiver. Lorsque les gelées cessèrent, j'observai les feuilles de beaucoup de chélidoines, toutes m'offrirent la même absence du mouvement de trépidation. Cependant la température était élevée de plusieurs degrés au-dessus de zéro; je vis ainsi que le froid, non-seulement suspendait pendant sa durée le mouvement de trépidation, mais qu'il mettait obstacle à son rétablissement lors du retour d'une température plus élevée; je cueillis le 20 janvier plusieurs feuilles de grande chélidoine qui n'offraient aucun mouvement de trépidation, et je mis tremper leurs pétioles dans des vases remplis d'eau placés dans un appartement dont la température varia de + 5 à + 10 degrés R.; je conservai ces feuilles à l'état de vie et de fraîcheur pendant plus d'un mois et demi, et malgré la température assez douce, à laquelle elles furent constamment soumises pendant tout ce temps, elles ne montrèrent point du tout de trépidation jusqu'au 8 mars, époque à laquelle elles commencèrent à manifester ce mouvement; alors la température était à + 13 degrés dans l'appartement. La température extérieure était moins élevée, aussi les chélidoines du dehors ne montraient-elles encore aucun mouvement de trépidation. Ce ne fut que le 10 mars que je commençai à observer ce mouvement dans les feuilles des chélidoines du dehors; ce jour-là le thermomètre indiquait + 15 degrés; cette température s'étant maintenue pendant plusieurs jours, je trouvai le mouvement de trépidation établi dans les feuilles de toutes les chélidoines. J'ai répété ces expériences pendant deux hivers, en sorte que leurs résultats ne m'offrent point d'incertitude. Le froid de — 2 degrés R., froid suffisant probablement pour geler les liquides contenus dans les feuilles de la chélidoine, suffit pour abolir complétement le mouvement de trépidation que présentent leurs nervures lorsqu'elles sont frappées par les rayons du soleil, et ce mouvement ne se rétablit point immédiatement par le retour d'une température plus élevée. Il

faut, pour qu'il se rétablisse, que la température extérieure demeure, pendant un temps assez long dans un certain degré d'élévation. Cela nous apprend pourquoi Reichenbach et Tréviranus n'ont pu parvenir à voir le phénomène de la trépidation dans les feuilles de la chélidoine, qu'ils observaient dans les mois de février, mars et avril, et par une température élevée; il paraît qu'il n'y avait pas assez longtemps que cette température élevée subsistait pour que le mouvement de trépidation eût pu se rétablir.

Il s'agit actuellement de déterminer quel est le siége de ce mouvement de trépidation. Le docteur Schultz, et tous les observateurs qui ont répété ses observations, s'accordent à admettre que cette trépidation est le résultat d'un mouvement qui a lieu dans les innombrables globules dont le suc jaune de la grande chélidoine est composé. Cette opinion ne peut être contestée; elle est appuyée sur des preuves irrécusables. Le docteur Schultz a vu, en effet, ce même mouvement de trépidation dans le suc jaune nouvellement sorti d'une plaie faite aux vaisseaux de la plante. En outre, il a découvert le même mouvement de trépidation dans le sang contenu dans les vaisseaux transparents des animaux fraîchement tués. Je reviendrai, dans un autre travail, sur ce dernier phénomène étranger à la physiologie végétale, mais bien évidemment du même genre que celui dont il s'agit ici. Ces faits prouvent que ce mouvement de trépidation est un phénomène qui appartient spécialement aux liquides organiques composés de globules nageant dans un liquide aqueux; aussi ce phénomène de trépidation s'observe-t-il chez toutes les plantes qui possèdent des liquides laiteux; mais cette observation ne peut se faire que lorsque les feuilles de ces plantes ont une transparence suffisante. Cette trépidation est un phénomène de physique moléculaire, dont nous ne connaissons point le mécanisme ni la cause efficiente immédiate. Il paraît que la *force oscillante* qui produit cette trépidation moléculaire est développée par une cause qui change rapidement l'état des corpuscules moléculaires suspendus dans le liquide organique. En effet, un mouvement de trépidation moléculaire exactement semblable à ceux que je viens de passer en revue, s'observe en examinant au microscope une goutte d'alcool qui contient une résine en dissolution. A mesure que les molécules de la résine prennent l'état solide par l'évaporation de l'alcool, elles offrent un mouvement de trépidation extrêmement rapide, en nageant dans l'alcool qui n'est pas encore évaporé. Ces corpuscules moléculaires changent alors rapidement d'état pour passer de l'état liquide ou demi-liquide à l'état solide, qui amène définitivement la cessation du mouvement de trépidation moléculaire. Il reste, comme on voit, encore bien des choses à connaître pour déterminer la cause du mouvement de trépidation moléculaire qui a lieu entre les globules que contiennent les liquides organiques végétaux éclairés par les rayons solaires; toujours est-il bien démontré que le mouvement de progression rapide dans leurs canaux que semblent présenter alors ces liquides, est une illusion d'optique, et comme le docteur Schultz s'appuie sur cette observation trompeuse pour admettre, chez la grande chélidoine, l'existence d'une circulation du latex, il devient légitime de soupçonner que, dans des observations faites sur d'autres plantes, il se sera laissé tromper par la même illusion. Dans les observations microscopiques de ce genre, il ne faut avoir confiance que dans celles qui sont faites avec le simple secours de la lumière diffuse. C'est au moyen d'une semblable observation, que j'ai constaté la réalité du mouvement de progression du latex dans ses canaux chez le *ficus elastica*, ainsi que l'a annoncé M. Schultz [1]. Au reste, ce qui achèvera de prouver que cet observateur s'est laissé induire en erreur par une illusion d'optique, en

[1] Le travail de M. Schultz sur cet objet a été publié dans le tome XXII des Annales des Sciences naturelles.

faisant usage de la lumière solaire dans les observations dont il est ici question, c'est l'assertion qu'il a émise touchant l'existence d'un rapide mouvement circulatoire du sang dans une partie animale transparente, telle qu'une oreille de souris, détachée du corps de l'animal et observée au microscope à l'aide de la lumière solaire. On voit alors dans les vaisseaux sanguins le même phénomène de trépidation et la même apparence de courants que l'on observe dans les mêmes circonstances dans les feuilles de la grande chélidoine, dans celles de la laitue, etc. Je reviendrai, dans un autre travail, sur ce point de physiologie animale [1], et l'on y trouvera la preuve la plus complète de l'erreur dans laquelle est tombé le docteur Schultz sur ce point.

---

[1] Voyez plus loin mon Mémoire XXVII intitulé : *De la structure intime des organes des animaux et du mécanisme de leurs actions vitales.*

IX.

COUP D'OEIL GÉNÉRAL

SUR

LES MOUVEMENTS DES VÉGÉTAUX,

EXAMEN DU MÉCANISME DES MODES ÉLÉMENTAIRES DE MOUVEMENT PAR INCURVATION ET PAR TORSION [1].

§ I.

La faculté de se mouvoir, si libéralement accordée par la nature aux animaux, n'a point à beaucoup près été refusée aux végétaux. Dans une foule d'occasions, ils meuvent spontanément quelques-unes de leurs parties, soit pour leur donner une position ou une direction convenable à l'exercice de leurs fonctions, soit pour obéir à une influence de nature inconnue qu'exercent sur eux les causes excitantes. Mais ce n'est pas toujours à l'occasion de l'influence d'une cause extérieure, que les végétaux meuvent quelques-unes de leurs parties. Il y a, en effet, chez eux, des mouvements dus à une sorte d'*élasticité*, laquelle diffère de l'élasticité des substances minérales, en cela que, dépendant de la présence de l'eau dans le tissu végétal, elle disparaît avec ce liquide lorsqu'il cesse de remplir les cellules végétales. Je ferai voir ailleurs, que l'eau n'est pas la seule substance dont l'introduction dans le tissu végétal soit propre à donner à ce tissu une tendance à se courber élastiquement, et dans d'autres circonstances une tendance à se tordre sur lui-même. Ainsi, il peut apparaître et disparaître dans les tissus végétaux deux tendances au mouvement, la première par *incurvation* et la seconde par *torsion*. Ces deux modes de mouvement sont ceux que je nomme *modes élémentaires*. Ce sont eux qui président à tous les mouvements des végétaux.

Les mouvements que les végétaux exécutent, considérés sous le rapport des circonstances dans lesquelles ils ont lieu, et sous le rapport des phénomènes auxquels ils coopèrent, peuvent être rapportés à cinq divisions :

1° Les mouvements élémentaires d'incurvation et de torsion ;

2° Les mouvements particuliers par

[1] Le paragraphe II de ce mémoire a été publié en 1828 ; tout le reste paraît ici pour la première fois.

lesquels les fleurs ou les feuilles de certains végétaux prennent les positions successives qui constituent ce que l'on a nommé le *sommeil* et le *réveil ;*

3° Les mouvements d'incurvation par excitation, autrement dits mouvements d'*irritabilité ;*

4° Les mouvements par lesquels les végétaux dirigent les radicules de leurs embryons séminaux dans le sens de la pesanteur, et leurs tiges dans le sens opposé à celui de cette même pesanteur.

5° Les mouvements par lesquels les végétaux dirigent quelques-unes de leurs parties vers la lumière, ou bien dans le sens opposé à celui de son afflux.

L'ordre numérique dans lequel je place ici les mouvements végétaux paraîtra peu naturel et arbitraire au premier coup d'œil, mais on verra qu'il résulte nécessairement de l'enchaînement des faits. Chacune de ces divisions des mouvements végétaux sera l'objet d'un mémoire séparé.

Les mouvements élémentaires d'incurvation et de torsion seront seuls étudiés spécialement dans ce mémoire. Les mouvements d'incurvation élémentaire résultent d'une tendance à la courbure dans un sens déterminé, tendance à laquelle est opposé un obstacle. Ce dernier, venant à être vaincu, le mouvement d'élasticité qui est la conséquence de cette tendance s'exécute librement, et il s'arrête lorsqu'il est accompli. Les exemples en sont nombreux dans le règne végétal. Les uns appartiennent à l'état de vie, les autres n'ont lieu que dans certaines parties végétales qui ont cessé de vivre. Je vais étudier le mécanisme de ces mouvements chez un petit nombre de végétaux, choisis parmi ceux qui sont à la fois et les plus vulgaires et les plus faciles à étudier sous ce point de vue.

§ II. *Mouvements par incurvation.*

Mécanisme du mouvement dans les valves du péricarpe de la balsamine (*impatiens balsamina*).

On sait que les valves du péricarpe de la balsamine, à l'époque de la maturité, se séparent les unes des autres, et que chacune d'elles se roule en spirale *en dedans*, c'est-à-dire que sa convexité est en dehors, ou du côté de l'épiderme. Si on les redresse, elles retournent spontanément et avec vivacité à leur état d'incurvation, lorsqu'on les abandonne à elles-mêmes. Si on les plonge dans l'eau, elles se courbent encore plus profondément; si on les laisse se dessécher à moitié, elles tombent dans l'état de flaccidité ou de relâchement, et perdent leur tendance élastique à l'incurvation. Ces premiers faits prouvent déjà que la présence de l'eau dans les organes qui composent le tissu de la valve est une des conditions de l'existence de sa tendance à l'incurvation. Si l'on plonge dans l'eau la valve à moitié flétrie par l'évaporation de ses liquides intérieurs, elle absorbe ce liquide, reprend son état turgide vital et son incurvation élastique. Si on laisse dessécher presque entièrement la valve à l'air libre, elle ne reprend plus du tout son état turgide et son incurvation lorsqu'on la plonge dans l'eau. Elle s'imbibe entièrement, et jusqu'à complète saturation, mais elle n'absorbe point l'eau *avec excès* comme elle le faisait auparavant; elle ne redevient point turgide; elle demeure constamment dans l'état de flaccidité. Cette dernière expérience m'a conduit à penser que l'incurvabilité tenait à l'existence du liquide organique qui remplissait les organes cellulaires dont la valve est composée, et que c'était, non par une simple imbibition, mais par endosmose, que l'eau était introduite dans le tissu organique incurvable. Les expériences qui vont être exposées confirmeront ce premier aperçu.

Le tissu organique qui compose la valve du péricarpe de la balsamine, vu au microscope, se trouve composé par une agrégation d'utricules ou de cellules. Ces cellules, grandes à la partie externe, vont toujours en décroissant de grosseur, jusqu'à la partie interne, où elles sont le plus petites. Cette disposition dévoile la cause de la tendance à l'incurvation. Toutes les cellules étant pleines jusqu'à l'état

turgide, l'incurvation de la valve en dedans en est le résultat nécessaire. Les cellules qui composent ce tissu sont, dans l'état naturel, remplies par un liquide organique plus ou moins dense. Lorsque ces cellules éprouvent extérieurement l'accession de l'eau, elles exercent l'endosmose implétive, par cela seul qu'elles contiennent un liquide organique plus dense que l'eau. Alors elles deviennent turgides, et le tissu, distendu plus en dehors qu'en dedans, prend un état d'incurvation en dedans [1]. Lorsqu'une dessiccation prolongée a enlevé le liquide intérieur des cellules, celles-ci s'imbibent de l'eau dont elles éprouvent extérieurement l'accession, mais elles n'exercent plus d'endosmose implétive; elles ne deviennent plus turgides; le tissu demeure dans l'état de flaccidité; l'incurvabilité est abolie. Du moment qu'il me fut démontré que l'accession extérieure de l'eau était la cause de l'endosmose implétive des cellules qui contenaient un liquide organique dense, et que cette endosmose était la cause de l'état turgide du tissu; du moment qu'en outre il me fut démontré que l'incurvation de ce tissu était le résultat de l'égalité de ses cellules, grandes en dehors, et petites en dedans, il me parut certain qu'en substituant à l'eau un liquide plus dense que celui que contenaient les cellules, je produirais, non plus l'endosmose implétive, mais l'endosmose déplétive [2], et, par suite, une incurvation de la valve dans le sens opposé à celui de son incurvation naturelle. Je plongeai donc plusieurs de ces valves, qui étaient courbées en dedans, dans du sirop de sucre. Elles ne tardèrent pas à perdre leur état d'incurvation, et à devenir droites. Bientôt après, elles se roulèrent en spirale en dehors. Cet effet, que j'avais prévu, était un résultat nécessaire de l'endosmose déplétive, qui soutirait le liquide organique moins dense que le sirop liquide qui remplissait les cellules du tissu de la valve. Ces cellules étant désemplies, la valve se roulait en dehors, parce que, de ce côté, les cellules, plus grandes, avaient plus perdu de liquide; il y avait, de ce côté, moins de matière solide qu'en dedans; dès lors, il devait y avoir incurvation de ce côté, lors de la soustraction d'une grande partie du liquide, qui, en gonflant ces cellules, leur faisait occuper un espace considérable. Je transportai dans l'eau ces valves roulées en spirale en dehors, elles ne tardèrent pas à se dérouler, et, enfin, à reprendre leur état naturel d'incurvation en dedans; ici, leurs cellules composantes exerçaient de nouveau l'endosmose implétive, et l'incurvation en dedans en était le résultat. Je transportai de nouveau mes valves dans le sirop. Elles se roulèrent en dehors; je les replaçai dans l'eau, elles se courbèrent en dedans. Je répétai ce double jeu d'incurvation neuf fois en cinq heures de temps. Alors, les valves cessèrent de se courber en dedans, lorsque je les plongeais dans l'eau; elles ne reprenaient plus assez pour cela leur état turgide, ce qui provenait de ce que l'action d'endosmose déplétive, provoquée par l'immersion dans le sirop, avait soutiré en grande partie leur liquide dense intérieur; il ne leur en restait plus assez pour exercer une endosmose implétive suffisante pour le replacer dans l'état turgide; dès lors, il n'y avait plus d'incurvation en dedans. Mais l'immersion dans le sirop produisait toujours le roulement en dehors, jusqu'au *summum*, parce que cette incurvation était le résultat de l'endosmose déplétive, laquelle, loin d'éprouver de la diminution, allait, au contraire, toujours en augmentant d'énergie, puisque le liquide intérieur des cellules devenait de moins

[1] Toutes les fois que je dirai, en parlant d'une partie végétale qu'elle se courbe *en dedans* ou qu'elle se courbe *en dehors*, cela signifiera, dans le premier cas, que la concavité de la courbure est tournée vers l'intérieur ou le centre du végétal, et, dans le second cas, que la concavité de la courbure est tournée vers l'extérieur.

[2] Pour l'intelligence de ce que j'entends par *endosmose implétive* et *endosmose déplétive*, voyez dans le premier Mémoire, aux pages 17 et 19.

en moins dense, l'eau ayant remplacé huit ou neuf fois le liquide organique intérieur, soutiré par l'endosmose déplétive qu'occasionnait l'immersion dans le sirop. Je mis sous le microscope une lame mince de valve, plongée dans du sirop de sucre; je fus ainsi à même de voir d'une manière immédiate le mécanisme de son incurvation. Je vis toutes les cellules, et spécialement les plus grandes, qui occupaient son côté extérieur convexe, perdre assez rapidement de leur diamètre, par l'effet de leur déplétion, et l'incurvation en dehors de la lame de valve en fut l'effet.

Il résulte de ces expériences, que les valves du péricarpe de la balsamine perdent leur incurvabilité ou leur faculté d'incurvation élastique en dedans, lorsque le liquide organique dense qui remplit leurs cellules est soutiré, soit par l'évaporation, soit par l'endosmose déplétive. C'est donc à l'existence de ce liquide intérieur dense qu'est due l'incurvabilité. Si l'on pouvait rendre aux cellules le liquide dense qu'elles ont perdu, on leur rendrait leur faculté de devenir turgides par endosmose implétive, lors de l'accession extérieure de l'eau : on rendrait par conséquent aux valves leur faculté de prendre une incurvation en dedans. C'est effectivement ce que j'ai fait par les deux expériences suivantes. J'ai fait dessécher à l'air libre des valves de péricarpe de balsamine, en ayant soin de les empêcher de se tortiller, et de les conserver dans la rectitude. Lorsque cette dessiccation me parut à peu près complète, j'achevai de la déterminer à l'aide de la chaleur douce du feu. Les valves ainsi desséchées étaient devenues cassantes et friables. J'en plongeai quelques-unes dans l'eau; elles s'imbibèrent jusqu'à saturation, et demeurèrent droites dans l'état de flaccidité. Je plongeai plusieurs autres de ces valves dans de l'eau très-sucrée; elles s'imbibèrent de ce liquide dense jusqu'à saturation, et demeurèrent de même dans l'état de rectitude et de flaccidité. Lorsque je jugeai que les cellules composantes de leur tissu avaient absorbé par imbibition du liquide sucré autant qu'elles pouvaient le faire, en vertu de leur simple capillarité, je plongeai ces valves dans l'eau; elles ne tardèrent pas à l'absorber par l'effet de l'endosmose implétive, provoquée par la présence d'un liquide dense dans les cellules; leur tissu cellulaire devint turgide, et l'incurvation des valves en dedans eut lieu de la même manière que dans l'état naturel. Je transportai ces valves dans du sirop de sucre, elles se roulèrent en dehors; je les replaçai dans l'eau, elles se courbèrent de nouveau en dedans; en un mot, ces valves avaient repris leur incurvabilité par une sorte de résurrection; seulement leur incurvation n'avait pas autant de force d'élasticité que dans l'état naturel.

Je viens d'exposer comment l'immersion alternative, souvent répétée dans le sirop et dans l'eau, avait fini par soutirer la plus grande partie du liquide organique dense que contenaient originairement les cellules, en le remplaçant par de l'eau. Il résultait de là l'impossibilité au tissu de la valve de reprendre dorénavant son état turgide, et par conséquent son incurvation en dedans; mais, en abandonnant longtemps dans le sirop ces valves ainsi privées de leur liquide dense naturel, ce liquide sucré tend à les pénétrer par imbibition. Les cellules s'en remplissent, en sorte qu'au bout de huit à dix jours, si l'on transporte ces valves dans l'eau, elles quittent leur incurvation en dehors, et reprennent leur incurvation naturelle en dedans; elles ont récupéré leur incurvabilité en récupérant un liquide dense dans l'intérieur de leurs cellules.

Il résulte de ces observations, que les valves du péricarpe de la balsamine possèdent une faculté d'incurvation élastique qui résulte de l'état turgide par endosmose implétive d'un tissu cellulaire à cellules larges et rares au côté convexe, petites et serrées au côté concave. C'est l'accession extérieure de l'eau sur ces cellules remplies d'un liquide organique dense, qui détermine l'endosmose implétive de ces cellules, et par conséquent l'exercice de l'incurvabilité, dont le mécanisme se

trouve ainsi dévoilé. Dans l'état naturel, c'est la séve lymphatique ascendante, qui n'est presque que de l'eau pure, qui remplit ici le rôle de liquide extérieur, dont l'accession provoque l'endosmose implétive des cellules. On peut se convaincre de cette vérité, en laissant flétrir un rameau de balsamine détaché de la plante et chargé de fruits. En perdant une partie de l'eau qui les rend turgides, les valves des péricarpes perdent une partie de leur incurvabilité; elles la récupèrent en plongeant l'extrémité du rameau dans l'eau. Ce liquide, pompé par la tige, arrive par les canaux lymphatiques jusqu'aux cellules des valves, et son accession extérieure détermine leur endosmose implétive, et par conséquent le retour de leur état turgide, ce qui ramène leur incurvabilité.

Il était important d'apprécier l'action des différents agents chimiques sur l'incurvabilité végétale. Je me suis assuré que les acides affaiblis augmentaient la force de la tendance à l'incurvation dans les valves de la balsamine. Ainsi, en plongeant une de ces valves dans l'eau pure, elle prenait un degré déterminé d'incurvation; si j'ajoutais à l'eau une petite quantité d'acide sulfurique, nitrique ou hydrochlorique, l'incurvation de la valve devenait à l'instant plus profonde; mais l'incurvabilité de cette valve était altérée, en sorte qu'en la transportant dans du sirop de sucre, elle se redressait, mais sans se rouler en spirale en dehors, comme cela a lieu ordinairement. Si l'action de cet acide affaibli était plus longue, la valve perdait entièrement la faculté de se redresser dans le sirop, son incurvabilité était complétement détruite. Ce phénomène était le résultat de la coagulation du liquide intérieur des cellules, coagulation opérée par l'action de l'acide. Alors les cellules ne contenaient plus un liquide dense, mais simplement un coagulum; elles étaient par conséquent incapables d'exercer l'endosmose, dès lors l'incurvabilité était abolie. L'immersion suffisamment prolongée d'une valve de péricarpe de balsamine, dans l'alcool, produit de même, et par la même raison, l'abolition de son incurvabilité. L'immersion, suffisamment prolongée dans une solution de potasse caustique, anéantit également l'incurvabilité de ces valves, et cela autant par l'altération chimique de leur tissu, que par celle de leurs liquides intérieurs.

Je mis quelques valves de balsamine dans un verre d'eau, à laquelle j'avais ajouté trois gouttes d'hydrosulfure d'ammoniaque. Les valves se courbèrent d'abord profondément en dedans; deux jours après, leur incurvation était beaucoup diminuée. Je les transportai dans l'eau pure; elles y demeurèrent immobiles. Je les transportai dans du sirop de sucre; elles se redressèrent jusqu'à la rectitude seulement, et ne se courbèrent point en dehors, comme cela a lieu ordinairement: remises dans l'eau, elles affectèrent une courbure très-légère en dedans. Ces valves étaient véritablement dans un état d'engourdissement ou de stupéfaction, et cependant elles avaient conservé leur apparence de vie; elles n'avaient point perdu leur couleur verte, comme cela avait lieu lors de l'abolition de l'incurvabilité de ces valves par des acides, par des alcalis ou par l'alcool.

Mécanisme du mouvement dans les péricarpes du *momordica elaterium*.

Le fruit du *momordica elaterium*, à l'époque de la maturité, se détache de son pédoncule. A l'instant de cette séparation, le liquide contenu dans la cavité centrale du fruit est expulsé avec violence, mêlé avec les graines, par l'ouverture qui provient de la séparation du pédoncule. A la seule inspection de ce phénomène, on peut juger qu'il y a là une contraction des parois de l'organe creux sur le liquide contenu dans sa cavité. J'avais d'abord été porté à douter de ce fait; mais l'observation m'a ramené à le reconnaître. Il ne m'a fallu pour cela que mesurer d'une manière exacte les deux diamètres du fruit ellipsoïde, avant et après son évacuation. Ce fruit, après qu'il a expulsé son liquide central et ses graines par une violente expulsion, se trouve diminué en-

viron d'un neuvième dans son petit diamètre, et environ d'un douzième dans son grand diamètre. J'ai pris ces mesures d'une manière extrêmement exacte, avec un compas de tourneur. Il n'y a donc point de doute; il y a ici une sorte de contraction ; l'organe creux s'est resserré sur lui-même dans tous les sens pour expulser le liquide contenu dans sa cavité. Il s'agit actuellement de rechercher le mécanisme de cette contraction afin de savoir si elle offre de l'analogie avec la contraction musculaire des animaux.

Avant sa maturité, le fruit du *momordica elaterium* ne manifeste aucune tendance à expulser le liquide, alors peu abondant, qui existe dans sa cavité centrale. Cependant, ce fruit vert donne des marques très-sensibles d'incurvabilité. Si l'on en coupe une tranche longitudinale, comme on coupe *une côte* de melon, cette tranche se courbe profondément sous forme d'un croissant : cette incurvation augmente encore en plongeant la tranche dans l'eau. Si l'on coupe le fruit par tranches circulaires transversales, et qu'on divise chacune de ces tranches circulaires en deux demi-cercles, chacun de ces demi-cercles se courbe profondément, jusqu'à former un petit cercle complet : cette incurvation augmente par l'immersion dans l'eau. Ainsi, il y a dans le fruit vert du *momordica elaterium* une tendance générale à l'incurvation : cette tendance, loin de comprimer le liquide central, tend au contraire à lui faire plus de place, puisque par elle le petit diamètre du fruit tend à s'agrandir. Ce n'est donc point cette tendance à l'incurvation qui comprime ce liquide, et qui l'expulse à l'époque de la maturité. Effectivement, à cette époque et après l'expulsion du liquide central, les tranches longitudinales du fruit ne tendent plus à se courber en dedans sous forme de croissant. Elles conservent leur rectitude, même lorsqu'on les plonge dans l'eau. Ainsi, il y a eu un changement extrêmement notable dans le mode de l'incurvabilité du fruit, comparé dans ses deux états de fruit vert et de fruit mûr. Il s'agit de déterminer, par l'expérience et par l'observation, quel est ce changement survenu.

Le tissu du fruit, examiné au microscope, se trouve spécialement composé de cellules agglomérées. Ces cellules vont en décroissant de grandeur de la circonférence au centre. C'est cette grandeur décroissante des cellules qui se retrouve ici comme dans les valves du péricarpe de la balsamine, qui détermine de même la tendance à l'incurvation en dedans dans le fruit vert; mais cette grandeur décroissante des cellules existe aussi dans le fruit mûr. Pourquoi donc n'existe-t-il plus de tendance à l'incurvation en dedans chez ce dernier? c'est ce que l'observation va dévoiler.

Les cellules qui composent par leur assemblage le fruit du *momordica* contiennent un liquide organique dense. L'accession extérieure de l'eau ou de la séve lymphatique provoque l'endosmose implétive dans ces cellules, et par suite l'état turgide et l'incurvation en dedans. C'est pour cela que l'incurvation d'une tranche de ce fruit augmente en la plongeant dans l'eau. Si on la plonge dans du sirop de sucre, la densité de ce liquide, plus considérable que la densité du liquide intérieur des cellules, provoquera l'endosmose déplétive dans ces cellules, et il en résultera que la tranche perdra son incurvation en dedans, et prendra une incurvation en dehors. Si l'on répète ce jeu d'incurvations alternatives dans l'eau et dans le sirop, il arrivera à la tranche du fruit ce qui est arrivé dans la même expérience à la valve de péricarpe de la balsamine; elle perdra la faculté de prendre de l'incurvation en dedans, en conservant celle de se courber en dehors. C'est le résultat de la soustraction du liquide dense que contenaient les cellules, soustraction qui a été opérée par l'effet continué de l'endosmose déplétive. Or, comme il arrive, lors de la maturité du fruit du *momordica*, qu'il a perdu sa faculté de se courber en dedans, et que cependant il conserve ses cellules décroissantes de dehors en dedans, il faut nécessairement que ces cellules aient perdu une grande partie

du liquide dense intérieur qu'elles contenaient, lorsque le fruit était vert. L'expérience va dévoiler la cause de cette déperdition.

Le centre du fruit du *momordica elaterium* contient une substance organique très-singulière, et qui ne ressemble à aucun autre tissu végétal. On le prendrait pour un mucus vert fort épais. Vu au microscope, il paraît composé d'une immense quantité de globules fort petits, agglomérés, tantôt confusément, tantôt de manière à former des stries irrégulières. Cette substance est pénétrée par un liquide blanchâtre, par une sorte d'émulsion, qui est d'autant plus dense, qu'on l'observe à une époque plus voisine de la maturité. Ce liquide aqueux s'épanche aussitôt qu'on ouvre le fruit vert. Au microscope, on voit des globules presque imperceptibles qui nagent dans ce liquide; à l'époque de la maturité, ce liquide blanchâtre est beaucoup plus abondant, et en même temps beaucoup plus dense; les globules qu'il tient en suspension sont devenus beaucoup plus gros. Les graines détachées du fruit nagent dans ce liquide central, qui, par sa densité considérable, provoque l'endosmose déplétive des cellules qui composent le tissu du fruit; dès lors le liquide organique qui remplit ces cellules tend, par l'effet de l'endosmose déplétive, à s'écouler vers le liquide central, dont la densité est supérieure à la sienne. Cette endosmose déplétive fait cesser la tendance à l'incurvation en dedans, qui existait dans toutes les parties du fruit, qui se trouve alors dans le même cas que s'il était en contact avec du sirop de sucre : ses côtés tendent alors à la rectitude. La masse du liquide central est augmentée par l'addition du liquide qu'il soutire des cellules. Les côtés du fruit sont courbés mécaniquement en dedans par cette accumulation de liquide dans sa cavité; et comme ces côtés tendent avec force à la rectitude, ils pressent avec violence le liquide central, et ils le chassent rapidement dès qu'une issue lui est offerte. Cette expulsion n'est pas l'effet de la seule tendance à la rectitude des côtés du fruit; elle est aussi l'effet de la diminution de la capacité de sa cavité centrale, par sa contraction générale. Ces deux effets dépendent de la même cause, c'est-à-dire de l'endosmose déplétive des cellules, produite par l'accession extérieure du liquide central, plus dense que ne l'est le liquide qui remplit ces mêmes cellules. La vérité de cette assertion est prouvée par l'expérience suivante. J'ai pris un nombre suffisant de fruits parvenus à leur maturité, et j'ai recueilli dans un vase le liquide central qu'ils expulsaient, mêlé aux graines; alors j'ai pris un fruit vert, et je l'ai coupé par tranches longitudinales; chacune de ces tranches s'est courbée en croissant, en dedans, comme à l'ordinaire, et cette incurvation s'est augmentée dans l'eau : c'était l'effet naturel de l'endosmose implétive. Alors j'ai transporté ces tranches dans le liquide que j'avais recueilli; elles n'ont pas tardé à diminuer de courbure; ensuite elles se sont redressées complétement; enfin, elles se sont un peu courbées en dehors. Il est prouvé par cette expérience, que le liquide central du fruit mûr agit comme cause d'endosmose déplétive sur les cellules qui composent le tissu du fruit, ce qui prouve que ce liquide est plus dense que ne l'est le liquide qui remplit ces cellules. C'est donc l'accession ou le contact de ce liquide central, devenu très-dense, qui fait cesser la tendance générale à l'incurvation en dedans, qui existait dans le fruit vert, par l'effet de l'endosmose implétive des cellules, et qui lui substitue une tendance générale au redressement et à l'incurvation en dehors, par l'effet de l'endosmose déplétive de ces mêmes cellules.

Ainsi, il y a deux phases dans l'incurvabilité du fruit du *momordica elaterium*, savoir : une tendance à l'incurvation en dedans par effet d'endosmose implétive dans le fruit vert, et une tendance à l'incurvation en dehors par effet d'endosmose déplétive dans le fruit mûr. Ce changement ne reconnaît d'autre cause que l'augmentation survenue dans la densité du liquide qui occupe la cavité centrale du fruit.

Il résulte de ces observations que les valves du péricarpe de la balsamine et le fruit du *momordica elaterium* possèdent une incurvabilité à laquelle se joint une sorte de contractilité. L'incurvabilité dépend de la grandeur décroissante des cellules qui composent le tissu incurvable; ce tissu offre, d'un côté, de la *capacité en plus*, et de l'autre côté, de la *capacité en moins*. Ces cellules contiennent un liquide organique d'une densité toujours supérieure à celle de l'eau; lorsqu'elles subissent l'accession extérieure de l'eau ou de la séve lymphatique, qui diffère peu de l'eau pure, ces cellules éprouvent l'endosmose implétive, et le tissu se courbe, de manière que les plus grandes cellules occupent le côté convexe. Lorsque ces cellules subissent l'accession d'un liquide plus dense que celui qu'elles contiennent, elles éprouvent l'endosmose déplétive, et il en résulte deux effets; le premier est l'incurvation du tissu, en sens inverse de celui qui avait lieu par endosmose implétive; alors ce sont les plus petites cellules qui sont au côté convexe; le second effet est la contraction ou plutôt le raccourcissement du tissu : c'est le résultat nécessaire de l'évacuation partielle de toutes ses cellules composantes. Par cette déplétion générale, le tissu devient moins volumineux, ou en d'autres termes, il se contracte, mais cette *contraction* n'a rien de commun avec la contraction musculaire des animaux.

§ III. *Mouvements de la torsion.*

Les mouvements dont le mécanisme vient d'être étudié s'opèrent par *incurvation;* ce mode de mouvement est le plus général chez les végétaux; un second mode de mouvement, qui s'observe moins fréquemment chez eux, est le mouvement de *torsion*.

Toutes les tiges grimpantes volubiles sont tordues sur elles-mêmes, et j'ai observé que, le plus souvent, le sens de la spirale que forme la tige par sa torsion sur elle-même, est opposé au sens de la spirale que forme la tige volubile autour du support qu'elle enveloppe. Si ce fait était général, on serait en droit de considérer la disposition volubile de la tige, autour de son appui, comme le résultat nécessaire de sa torsion sur elle-même, dans un sens opposé à celui de sa spire volubile. En effet, l'enchaînement de ces deux phénomènes est facile à saisir. On sait que pour faire une corde composée de *cordelles,* par exemple, on commence par tordre sur elles-mêmes et dans le même sens les deux cordelles, ensuite en les rapprochant latéralement, on les tord l'une sur l'autre en sens inverse de celui dans *lequel* est opérée la torsion de chacune des cordelles; alors chacune de ces dernières offre une disposition en spirale qu'elle tend à prendre spontanément par le seul fait de sa jonction à sa congénère, et sans y être forcée par la torsion secondaire qu'opère le cordier et qui ne fait que seconder la disposition naturelle qu'ont ces deux cordelles à être *volubiles* l'une à l'égard de l'autre. Or, on observe une succession exactement semblable de *phénomènes*, en associant latéralement deux tiges d'une plante volubile quelconque, deux tiges de houblon, par exemple. La tige du houblon, vue de l'axe central de cette tige, se tord sur elle-même de droite à gauche; en associant deux de ces tiges qui se développent accolées, elles se disposent l'une sur l'autre en spirale dirigée de gauche à droite, en sorte qu'elles représentent très-exactement une corde composée de deux cordelles. Si au lieu d'associer deux tiges de houblon, on associe une seule de ces tiges à un bâton vertical, la tige de houblon enveloppera ce bâton inflexible par sa même spirale dirigée de gauche à droite. C'est exactement pour une seule tige le même phénomène que celui qu'elle présentait lorsqu'elle était associée à une autre tige, sa disposition est la même; le bâton occupe alors l'axe très-grossi de la spire; il est entendu que, pour juger de la direction de cette spire, il faut la supposer vue de cet axe; or les mêmes phénomènes s'observent chez toutes les autres plantes volubiles. Ainsi le chèvrefeuille (*linocera*

caprifolium) tord sa tige sur elle-même de droite à gauche, cette tige est volubile en sens contraire, c'est-à-dire de gauche à droite de même que le houblon; il en est de même du *tamus communis*. Le *convolvulus purpureus* (*ipomea purpurea* Lam.) tord sa tige sur elle-même de gauche à droite; cette tige est volubile de droite à gauche; la même chose a lieu chez le *convolvulus sepium* et chez le *convolvulus arvensis;* mais cependant il arrive souvent que chez ces deux derniers *convolvulus*, la torsion de la tige sur elle-même offre une spirale dirigée dans le même sens que celui de la spirale volubile, c'est-à-dire également de droite à gauche, en sorte que cela infirmerait la règle générale que je viens d'établir touchant l'opposition du sens de la spirale opérée par la torsion de la tige sur elle-même et du sens de la spirale opérée par la disposition volubile de cette tige; toutefois, ce fait n'infirme point complétement la loi dont il est ici question, puisqu'il arrive souvent que chez ces *convolvulus* le sens de la torsion de la tige sur elle-même est opposé au sens de la spirale volubile de cette tige; en sorte que le cas contraire, qui se présente souvent aussi à l'observation, peut être considéré comme une aberration dont la cause n'est pas connue. Si donc l'on admet que la torsion de la tige sur elle-même, dans un sens déterminé, est la cause de la disposition volubile de cette tige en sens opposé, il ne s'agira que de déterminer la cause du premier phénomène pour avoir, par un enchaînement nécessaire, la cause du second. Pour nous faire une idée de la cause à laquelle est due la torsion d'une tige sur elle-même, supposons que le développement en longueur de son système central, soit inférieur au développement en longueur de son système cortical; ce dernier, par le fait de son excès d'allongement, devra ou bien se plisser par plis transversaux ou bien disposer ses fibres obliquement et en spirale en se tordant sur lui-même, et en entraînant avec lui le système central dans sa torsion. J'ai observé le plissement sur lui-même, du système cortical, par l'effet de l'excès de son développement en longueur, chez les racines du lis blanc (*lilium candidum*), cela n'a lieu que lorsque ces racines annuelles sont déjà vieillies, et vers le mois de septembre. Ce fait, qui prouve que le système cortical peut acquérir plus de longueur que le système central, permet de penser que c'est à une cause semblable, mais qui est suivie d'un effet différent, qu'est due la torsion, sur elle-même, de la tige de certaines plantes volubiles. Il me reste à prouver, par l'expérience, qu'un semblable effet peut être dû à une semblable cause. Si l'allongement plus considérable dans la partie superficielle que dans la partie centrale, est de nature à produire la torsion d'un caudex végétal, le même effet devra être produit par le raccourcissement plus considérable dans la partie centrale que dans la partie superficielle. Or l'observation m'a fait voir l'existence de ce dernier fait, lequel implique nécessairement la réalité de l'existence du premier. Les feuilles calicinales ou les sépales du salsifix (*tragopogon porrifolium*) sont fort allongées; leur nervure médiane est assez grosse et leur limbe foliacé est très-étroit. Ces feuilles, étant séparées du calice et abandonnées à la dessiccation, se tordent sur elles-mêmes et représentent alors une sorte de colonne torse. Cela provient de ce que le centre de leur nervure médiane contient de grosses cellules remplies de liquide aqueux, et de ce que la partie la plus superficielle de cette même nervure est occupée par de petites cellules remplies de liquide aqueux et de matière verte. La dessiccation fait perdre plus de longueur aux rangées de grosses cellules centrales qu'aux rangées de petites cellules superficielles, et comme toutes ces rangées sont intimement adhérentes, il en résulte que les plus longues qui sont en dehors doivent se courber obliquement en spirale, tandis que les plus courtes qui sont en dedans doivent conserver leur disposition en ligne droite, mais être tordues sur elles-mêmes par l'effort que font, dans ce sens, les rangées extérieures

qui les entraînent de force dans ce mouvement de torsion. Il me paraît que c'est par un mécanisme analogue que certaines tiges volubiles se tordent sur elles-mêmes; chez elles la torsion ne provient point, comme chez les sépales du salsifis, d'un excès de raccourcissement dans leur partie centrale, mais bien d'un excès d'allongement dans leur partie superficielle, ce qui produit exactement le même effet, c'est-à-dire la torsion sur lui-même, du caudex végétal. On voit en effet que dans les tiges volubiles, tordues sur elles-mêmes, la partie centrale n'a point ses organes cellulaires déprimés et raccourcis. C'est donc bien réellement la partie corticale qui a pris un excès d'allongement dont l'existence est prouvée par le fait même de la disposition oblique et spiralée de ses faisceaux fibreux.

Il arrive quelquefois que le tronc des arbres est tordu sur lui-même, en sorte que les fibres ligneuses sont disposées en spirale; cela est fréquent chez le prunier (*prunus domestica*); j'ai observé que la torsion de cet arbre avait lieu tantôt de droite à gauche, tantôt de gauche à droite, il ne me paraît pas douteux que cette torsion ne se soit opérée par un mécanisme analogue à celui que je viens d'exposer. Ce sont peut-être ici les couches nouvelles d'aubier qui prennent un accroissement, en longueur, plus grand que celui des couches plus anciennes.

La disposition des tiges en spirale s'opère très-évidemment quelquefois par un mécanisme différent de celui que je viens d'indiquer. Le *mimosa entada* Willd. en offre un exemple très-remarquable. Cet arbuste grimpant qui habite les régions intertropicales, offre dans sa tige volubile des spires qui sont alternativement dirigées de droite à gauche et de gauche à droite, comme on le voit dans la figure 3 de la planche 14. La spire de la partie *a* de cette tige volubile est dirigée de gauche à droite, cette direction de la spire change en *c* et prend la direction de droite à gauche dans la partie *b*. Le même changement de direction de la spire s'observe en *d*, en sorte qu'il est bien évident que des spirales inverses occupent alternativement toute la longueur de cette tige volubile. J'ai remarqué que dans la spire qui s'étend sans changement de direction de *d* en *c*, la tige possède cinq bourgeons, lesquels indiquent ici l'insertion des cinq feuilles dont se compose la spirale la plus ordinaire, suivant laquelle les feuilles sont disposées sur les tiges végétales. Ici, c'est-à-dire en *a*, figure 3, la spirale des feuilles est dirigée de gauche à droite, ce qui est aussi le sens de la direction de la spirale qu'affecte cette partie de la tige volubile. Plus haut, c'est-à-dire en *b*, la spirale des feuilles change et se dirige de droite à gauche, ce qui est aussi le sens de la direction de la spirale qu'affecte cette partie *b* de la tige volubile (voir p. 131). Ainsi le changement de direction de la spirale des feuilles entraîne ici le changement de direction de la spirale qu'affecte la tige volubile. Cette dernière est fortement excentrique, comme on le voit par sa coupe transversale représentée par la figure 4, planche 14. La moelle *a* entourée d'une mince couche ligneuse concentrique *b*, est placée tout à fait latéralement dans cette tige excentrique dont la partie ligneuse *c* s'est presque exclusivement développée sur un seul de ses côtés. Le bourgeon *o* indique la place qu'occupait une des feuilles. Ainsi, il paraît certain que c'est ici la disposition des feuilles en spirales alternativement inverses, qui a occasionné le contournement de la tige en spirales qui sont de même alternativement inverses. Il est infiniment probable que dans l'origine, cette tige n'était point excentrique comme elle l'est dans l'exemple qui est figuré ici, elle devait consister alors seulement dans la partie cylindrique dont la coupe transversale est représentée en *a b* (figure 4), partie qui forme seulement le cordon spiralé et extérieur, qui porte les bourgeons *o o o* dans la figure 3. Ce cordon spiralé était la tige primitive. Il n'y a point eu d'accroissement en diamètre au côté convexe de cette tige spiralée primitive, côté qui porte les bourgeons et qui par conséquent

portait les feuilles, mais, par contre, il s'est opéré un accroissement excessif en diamètre sur cette tige primitive au côté concave de la spire qu'elle affecte; c'est cet accroissement en diamètre du côté concave de la tige spiralée qui a produit la partie ligneuse dont la coupe transversale est représentée en *c* (figure 4), l'écorce *i* de cette tige a partout à peu près la même épaisseur. Il ne paraît pas facile de déterminer pourquoi c'est exclusivement le côté concave de la tige spiralée qui s'accroît en diamètre. Je me bornerai à faire observer que ce fait est en contradiction avec toutes les théories qui ont fait dériver les inflexions spontanées qu'affectent, dans certains cas, les tiges végétales de l'excès de la nutrition de l'un de leurs côtés sur la nutrition du côté opposé, admettant qu'en pareil cas, c'est le côté le plus fortement nourri qui s'allongerait le plus, et qui par conséquent occuperait la convexité de la courbure. Ici, c'est l'inverse qui a lieu; c'est le côté le plus fortement nourri et le plus développé qui occupe la concavité de la courbure. Pourquoi, chez le *mimosa entada*, la disposition spiralée des feuilles détermine-t-elle le contournement en spirale de la tige, tandis que cela n'a point lieu chez tant d'autres végétaux dont les feuilles sont disposées en spirale? Cela tient très-certainement à une particularité d'organisation chez le *mimosa entada*, particularité qui ne pourrait être étudiée qu'en observant ce végétal à l'état de vie. Les vrilles de la brione (*brionia alba* L.) offrent aussi des spirales successives dont le sens est alternativement de droite à gauche et de gauche à droite. C'est, je crois, le seul végétal de nos climats qui offre ce phénomène dont la cause organique est inconnue.

D'après l'observation qui prouve que chez le *mimosa entada* la spirale de la tige volubile est dirigée dans le sens même de la spirale qu'affectent les feuilles, il serait permis de soupçonner qu'il en serait de même chez les autres végétaux dont les tiges sont volubiles, mais l'observation ne confirme point cette prévision. Ainsi, par exemple, chez le *tamus communis* la spirale des feuilles est dirigée de droite à gauche, et la spirale de la tige volubile est dirigée de gauche à droite. La direction de la spirale des feuilles n'est pas toujours facile à voir sur les tiges volubiles, parce que ces tiges sont toujours tordues sur elles-mêmes; mais on peut les ramener par la pensée à l'état d'absence de torsion, en observant les rapports des insertions des feuilles avec les lignes spiralées que décrivent sur la tige tordue les fibres qui, sans cette torsion, auraient été longitudinales.

Le mécanisme qui préside à l'exécution des mouvements que je viens d'étudier, mouvements dans lesquels la *vitalité* de la plante ne paraît point intervenir nécessairement, est également celui qui préside à l'exécution des *mouvements vitaux* des plantes; ces derniers mouvements, en effet, sont tous dus à l'*implétion* ou à la *déplétion* d'un tissu organique composé d'organes cellulaires ou plus généralement de petits organes creux, ainsi que je le ferai voir, en sorte que tous ces *mouvements vitaux* s'opèrent par *incurvation* ou par *torsion*. Cependant, je dois dire ici d'avance que ce n'est pas toujours et exclusivement par implétion ou par déplétion d'eau que ces *mouvements vitaux* s'opèrent; c'est aussi par *implétion* et par *déplétion d'oxygène*, ainsi que je le démontrerai.

§ IV. *Mouvements végétaux dus à l'hygrométrie.*

Tous les mouvements purement mécaniques que je viens de passer en revue, sont exécutés par des parties vivantes. Or, on observe souvent des mouvements semblables dans des parties végétales mortes qui prennent des positions alternativement inverses, suivant qu'elles sont ou desséchées ou pénétrées par l'humidité. La recherche du mécanisme de ces mouvements ne m'a pas paru dépourvue d'intérêt. Je me bornerai ici à deux exemples.

La fleur du *xeranthemum lucidum* a son calice composé de sépales colorés en jaune; ils sont coriaces et persistants comme le sont en général ceux des fleurs qui portent le nom vulgaire d'*immortelles*. Cette fleur se ferme par l'inflexion des sépales vers le centre de la fleur lorsque l'air environnant lui livre de l'humidité, et elle s'ouvre par l'inflexion de ces mêmes sépales vers le dehors lorsqu'elle perd cette humidité acquise. Ce double mouvement peut s'observer pendant plusieurs années dans ces fleurs mortes que l'on conserve à l'air libre dans un appartement. Ce phénomène provient de ce que les sépales colorés qui exécutent ce double mouvement par les inflexions alternativement inverses de leur base, possèdent, dans cette partie, des cellules décroissantes de grandeur de dehors en dedans : grandes en dehors ces cellules sont plus petites en dedans, et il en résulte que lorsqu'elles sont gonflées par l'eau, elles courbent le tissu qu'elles composent vers le centre de la fleur ou vers le dedans, et que lorsqu'elles sont affaissées par l'évaporation de l'eau qui les gonflait, elles courbent le tissu qu'elles composent vers le dehors. Le mécanisme de ce double mouvement est exactement le même que celui qui préside généralement aux mouvements en sens alternativement opposés que l'on observe chez les végétaux vivants, mais leur cause déterminante n'est point en tout la même. Chez les végétaux vivants la turgescence ou la déplétion des cellules proviennent des variations de l'endosmose; chez les parties végétales mortes la turgescence ou la déplétion des cellules sont des effets d'hygrométrie.

Le second exemple que j'ai à citer est relatif aux mouvements qui sont exécutés par les deux valves des gousses des plantes légumineuses, lorsqu'elles sont frappées de mort après leur maturité. Alors ces valves se séparent l'une de l'autre, et il arrive assez souvent que chacune d'elles tend à se rouler en spirale. Ce phénomène est surtout remarquable chez le pois vivace (*lathyrus latifolius*) et chez le haricot (*phaseolus vulgaris*). Lorsque les valves de la gousse sont séparées l'une de l'autre et qu'elles se dessèchent, elles se contournent en spirale, de manière à former un tube assez semblable pour la forme à une trachée (figure 6, planche 14). Lorsque ces gousses redeviennent humides, elles quittent leur disposition en tube spiralé et elles reprennent leur forme ordinaire, qui est celle d'un demi-canal ou d'une gouttière. La cause de ce double phénomène m'a paru curieuse à rechercher.

Les valves de la gousse offrent *intérieurement* une membrane lisse et résistante, en dehors elles possèdent un tissu parenchymateux que recouvre l'enveloppe tégumentaire. La membrane interne est composée de fibres courbes, parallèles les unes aux autres, dont la disposition est très-oblique par rapport à l'axe longitudinal de la valve, comme on le voit dans la figure 7, planche 14 en *a b, a b*. J'ai indiqué ici par des lignes parallèles la direction de ces fibres que l'on ne voit point à l'extérieur; il faut déchirer le tissu de la valve pour apercevoir leur existence; une lanière étroite de valve humide, enlevée selon la direction de ces fibres, étant desséchée, elle se courbe *en dehors*, en sorte que sa convexité est occupée par la membrane interne de la valve; si on la mouille de nouveau, elle se courbe *en dedans*, comme elle l'était primitivement, en sorte que sa concavité est occupée par la membrane interne de la valve. Ces deux phénomènes sont tout à fait indépendants du parenchyme qui occupe l'extérieur de la valve; car ils ont lieu de même lorsque ce parenchyme est enlevé : ainsi ils appartiennent entièrement à la membrane fibreuse de la valve. J'ai démontré plus haut qu'un tissu végétal, qui possède d'un côté de grandes cellules, et de l'autre côté des cellules plus petites, se courbe alternativement dans les deux sens opposés, suivant l'implétion ou la déplétion de ses cellules; or, l'observation microscopique fait voir que la membrane fibreuse de la valve est composée de tubes fibreux inégaux en grosseur; les plus extérieurs, ceux qui touchent au parenchyme cortical

de la valve sont plus gros que les tubes fibreux qui sont situés au-dessous et qui touchent à l'épiderme intérieur et extrêmement fin de cette même valve; il résulte de là, qu'en imbibant d'eau le tissu membraneux que ces tubes fibreux forment par leur assemblage, ce tissu membraneux se courbera, comme l'expérience le démontre, de manière à ce que les plus gros tubes fibreux occupent la convexité de la courbure, et les plus petits tubes fibreux la concavité de cette même courbure. Lorsque ce tissu membraneux viendra à se dessécher, une courbure inverse de ce tissu aura lieu. Ces faits, donnés par la théorie et confirmés par l'observation, étant établis, on voit facilement comment ils produisent tour à tour la disposition de la valve en gouttière et sa disposition en tube spiralé.

La valve est pliée en forme de gouttière dans son état normal; cette courbure a lieu dans le sens *a c, b d* (fig. 7) de la largeur de la valve; or, lorsque cette dernière se dessèche, ses fibres courbes parallèles *a b, a b*, tendant à se redresser, et ne pouvant opérer cette action, à cause de la grande obliquité de leur courbure particulière avec la courbure en gouttière de la valve; ces fibres parallèles, dis-je, sont amenées par le fait même de leur tendance au redressement, à prendre dans leur ensemble la seule disposition dans laquelle ce redressement puisse avoir lieu; cette disposition est celle dans laquelle la valve est roulée en spirale tubuleuse; alors ces fibres deviennent droites, comme on le voit dans la partie *i o* de la valve, qui offre un commencement de la formation du tube spiralé, formation qui est simultanée dans toute l'étendue de la valve qui se dessèche et que j'ai représentée seulement dans le milieu de cette dernière, afin de mieux faire saisir le mécanisme au moyen duquel s'opère la disposition de la valve en tube spiralé (fig. 6). Dans ce tube, les fibres parallèles de la membrane fibreuse de la valve sont devenues droites et disposées dans le sens de la longueur du tube; elles tendent fortement à outre-passer leur redressement et à se coucher *en dehors*, mais leur association, sous forme membraneuse, y met obstacle. Si l'on mouille ce tube spiralé, ses fibres parallèles et droites tendront à reprendre leur courbure primitive *en dedans*; dès lors la disposition en tube spiralé disparaîtra, et la valve reprendra sa forme primitive ou sa forme en gouttière. Ces deux phénomènes alterneront autant de fois que la valve sera alternativement desséchée et mouillée; c'est un effet d'hygrométrie et en même temps l'effet d'un mécanisme assez curieux d'organisation.

En comparant cette dernière observation à celles qui ont été exposées plus haut, touchant le mécanisme qui préside à la disposition spiralée chez les végétaux, on voit que les causes qui opèrent cette disposition spiralée ne sont point les mêmes dans toutes les circonstances où cette disposition se manifeste.

X.

DU RÉVEIL

ET

DU SOMMEIL DES PLANTES [1].

§ I. — *Du réveil et du sommeil des fleurs.*

Lorsqu'une fleur présente successivement les deux états d'épanouissement et d'occlusion, on dit que le premier de ces deux états est son réveil et que le second est son sommeil. Des fleurs, en très-grand nombre, ne présentent point de sommeil; elles s'épanouissent et conservent cet état jusqu'à la mort de la corolle qui se flétrit et tombe sans s'être préalablement fermée; il y a des fleurs qui n'ont qu'un seul réveil qui est leur épanouissement, et qui n'ont qu'un seul sommeil qui précède immédiatement la mort de la corolle : telles sont les fleurs des *mirabilis*, des *convolvulus*, etc.; il y a enfin des fleurs qui présentent pendant plusieurs jours les alternatives des deux positions de réveil et de sommeil. Les fleurs de beaucoup de synanthérées sont dans ce cas.

Les phénomènes du réveil et du sommeil des plantes, et spécialement de leurs fleurs, ont frappé très-certainement dans tous les temps les yeux les moins observateurs; mais c'est Linnée qui, le premier, les a étudiés, sous le point de vue scientifique, sans cependant avoir recherché leur cause. Il s'est contenté de noter les heures diverses auxquelles les fleurs s'épanouissent et se ferment; c'est avec le résultat de ces observations qu'il a composé ce qu'il a nommé l'*Horloge de Flore*, qui est connue de tous ceux qui s'occupent de l'étude des plantes. Le réveil et le sommeil des fleurs n'a été étudié depuis que par M. de Candolle [2]. Cet habile observateur, en soumettant pendant la nuit, à une lumière artificielle, des fleurs susceptibles de sommeil, et en les mettant, pendant le jour, dans l'obscurité, parvint quelquefois à intervertir les époques de leur réveil et de leur sommeil. Ainsi il vit des fleurs de *mirabilis jalappa* s'ouvrir le matin et se fermer le soir, ce qui est l'inverse de ce qui a lieu dans l'état naturel; il vit l'*ornithogalum umbellatum* ouvrir constamment ses fleurs, à l'heure quelconque où il se trouvait soumis à l'influence de la lumière artificielle, et les fermer lorsqu'il était replacé

[1] Ce mémoire, inédit jusqu'à ce jour, a été communiqué à l'Académie des Sciences de l'Institut dans ses séances des 14 et 21 novembre 1836.

[2] Influence de la lumière artificielle sur les végétaux (Mémoires de l'Institut, savants étrangers, t. 1, p. 335).

dans l'obscurité. Malgré beaucoup d'irrégularités, que M. de Candolle observa chez beaucoup d'autres fleurs soumises aux mêmes expériences, l'ensemble des faits lui démontra que la présence et l'absence alternatives de la lumière sont les causes véritables des mouvements qu'exécutent les fleurs pour prendre les positions qui constituent leurs états successifs de réveil et de sommeil ; mais il ne détermina point comment la lumière agit, par sa présence, pour produire l'un de ces phénomènes, ni comment son absence détermine le phénomène opposé. En 1831 j'exposai quelques expériences sur ce point, si obscur et cependant si important, de la physiologie végétale ; je fis voir que dans le vide de la pompe pneumatique, les fleurs susceptibles de sommeil et de réveil conservent constamment celui de ces deux états qu'elles possèdent lorsqu'elles y sont placées. En vain alors une fleur dans l'état de sommeil, est exposée à la lumière et même aux rayons solaires, elle ne quitte point cet état ; en vain alors arrive l'obscurité de la nuit, elle ne détermine point le sommeil d'une fleur qui a été placée dans le vide pendant son état de réveil. J'ai fait ces expériences sur les fleurs du *leontodon taraxacum*, du *sonchus oleraceus* et du *convolvulus arvensis*. Ces fleurs avaient alors leurs pédoncules plongés dans l'eau, afin d'entretenir leur vie et leur fraîcheur, les deux premières, qui appartiennent aux synanthérées et qui vivent pendant plusieurs jours, ont pu seules m'offrir la persistance du sommeil des fleurs dans le vide ; la dernière, dont les fleurs ne vivent qu'un seul jour, n'a pu m'offrir que la persistance dans le vide de l'état de réveil, car leur sommeil est également persistant à l'air libre ; il précède la mort de la corolle. J'avais conclu de ces observations, isolées et fort incomplètes, que l'air contenu dans les organes aérifères ou pneumatiques des plantes joue un rôle important dans les phénomènes de leur réveil et de leur sommeil. Les observations qui vont suivre confirmeront ce premier aperçu.

Pour arriver à la connaissance du mécanisme intime qui préside aux actions organiques qui produisent le réveil et le sommeil des fleurs, j'ai dirigé d'abord mes recherches sur les fleurs qui n'offrent qu'un seul réveil qui est leur épanouissement et qu'un seul sommeil qui précède la mort de leur corolle. Parmi les fleurs qui sont dans ce cas, j'ai choisi pour sujets d'étude la fleur du *mirabilis jalappa*, du *mirabilis longiflora*, et celle de l'*ipomea purpurea* Lam. (*convolvulus purpureus* L.).

On sait que les corolles des *mirabilis* (belles de nuit) s'épanouissent le soir et se ferment le lendemain matin, lorsque la lumière devient vive. Mais elles restent épanouies jusque dans l'après-midi, si le soleil est caché par d'épais nuages, en sorte qu'il paraît bien évident que c'est la lumière qui détermine l'occlusion ou le sommeil de leur corolle. La fleur de l'*ipomea purpurea* s'épanouit vers le milieu de la nuit, et elle conserve cet état de réveil jusqu'au soir du jour qui suit ; alors arrive son occlusion ou son sommeil, qui a lieu exactement de la même manière que celui de la corolle des *mirabilis*, c'est-à-dire en roulant les bords de la corolle en dedans ou vers son centre. J'ai fait marcher de concert mes expériences sur le mécanisme organique qui opère le réveil et le sommeil de l'*ipomea purpurea*, du *mirabilis jalappa* et du *mirabilis longiflora*. Il y a, comme on s'en doute bien, une similitude parfaite sous le point de vue de ce mécanisme organique entre les deux *mirabilis* dont le réveil est nocturne ; mais l'on sera étonné de voir que ce mécanisme est exactement le même chez l'*ipomea* dont le réveil, nocturne d'abord, se prolonge pendant toute la durée du jour. Je commence par étudier la fleur du *mirabilis jalappa* que je prends pour *specimen*, tout ce que j'en dirai s'appliquant de même au *mirabilis longiflora*.

La corolle infundibuliforme et monopétale des *mirabilis* peut être considérée comme formée par la soudure de cinq pétales qui ont chacun leur *nervure médiane*. Ces cinq nervures, qui font saillie à la face externe de la corolle, soutiennent le

tissu membraneux de cette dernière comme les fanons de baleine d'un parapluie en soutiennent l'étoffe, et ce sont elles exclusivement qui, par leurs incurvations spontanées, opèrent l'épanouissement de la corolle ou son réveil, et qui opèrent subséquemment son occlusion ou son sommeil; dans le premier cas, les cinq nervures se courbent en dehors, dans le second elles se courbent en dedans en se plissant en zigzag, et par ce mécanisme elles entraînent avec elles le tissu membraneux de la corolle jusqu'à l'orifice de son canal tubuleux où ce tissu membraneux demeure chiffonné et en bouchon. Ce plissement en zigzag des nervures est produit, comme on le verra plus bas, par leur tendance à l'incurvation en spirale en dedans. Le tissu membraneux de la corolle auquel les nervures sont organiquement liées, les empêchant de se rouler en spirale uniforme en dedans, les diverses portions de leur longueur se courbent isolément, en sorte qu'il y a une certaine quantité d'arcs les uns à la suite des autres et tous produits par une tendance à l'incurvation dans le même sens, c'est-à-dire en dedans. Ces arcs, dans les endroits où ils sont contigus, forment des angles, ou présentent des flexions de la nervure en sens opposé à celui de l'incurvation spontanée de chacun de ces arcs; mais ces *flexions* de la nervure ne sont point des *incurvations spontanées;* ce sont des flexions opérées mécaniquement par l'effet des obstacles qui s'opposent à l'incurvation en dedans de la nervure suivant une spirale régulière et concentrique, et qui ne permettent que l'incurvation irrégulière des diverses portions de son étendue. Ainsi la nervure fléchie en zigzag ou courbée sinueusement possède cet état, parce que la moitié du nombre de ses arcs possède une incurvation spontanée qui résulte de l'organisation de ces arcs, et parce que l'autre moitié du nombre de ses arcs, tournés en sens inverse des premiers, possède une flexion mécanique opérée de force et contradictoirement au mode naturel de tendance à l'incurvation que possède généralement la nervure. Le plissement en zigzag des nervures n'est donc point le produit direct de l'action organique, laquelle ne tend, dans le cas dont il s'agit, qu'à courber régulièrement les nervures en spirale concentrique en *dedans*.

Avant l'épanouissement ou lorsque la fleur est encore *en bouton* qui doit s'épanouir sous peu, les mêmes nervures sont aussi légèrement courbées en dedans, en sorte que la portion de la corolle qui doit subséquemment être évasée est alors renflée en massue. Les figures 1, 2 et 3 (pl. 15), représentent les trois états successifs de *bouton*, d'*épanouissement* et d'*occlusion* de la corolle du *mirabilis jalappa*. Pour parvenir à la connaissance du mécanisme organique au moyen duquel s'opèrent les inflexions auxquelles sont dus les trois états successifs qu'elle présente, j'ai dû d'abord étudier la structure intérieure de ces nervures. Ayant donc isolé une de ces nervures du tissu membraneux de la corolle, je l'ai fendue en deux longitudinalement et dans le sens du diamètre de la corolle, et j'ai soumis au microscope cette moitié transparente de nervure couverte d'un peu d'eau afin d'augmenter sa transparence. Je dois dire que, pour plus de facilité, je me suis adressé à la variété de cette fleur qui est panachée de rouge et de blanc; en sorte que ce sont des nervures incolores que j'ai observées d'abord. Lorsque les nervures sont rouges leur transparence est moindre, mais je l'ai rendue égale à celle des nervures incolores en mettant la nervure rouge dans une solution de potasse caustique qui fait disparaître cette couleur, en sorte que l'observation microscopique ne rencontre plus d'obstacles. La figure 4 représente l'organisation intérieure de cette nervure de corolle : *a* est son côté externe, *b* est son côté interne [1]. Le côté externe est occupé par un tissu cellulaire *c* dont les cellules, disposées en séries longitudinales,

[1] Cette figure 4 qui représente l'organisation intérieure d'une nervure devrait être renversée de gauche à droite pour la mettre en harmonie de po-

offrent sur leurs parois une assez grande quantité de globules. A partir des deux tiers internes *c* de l'épaisseur de ce tissu, les cellules vont en décroissant de grandeur vers le dehors *a* et vers le dedans où elles sont contiguës à des trachées *d*. De l'autre côté de ces dernières, ou à leur côté interne, existe un tissu fibreux *f* dont la texture extrêmement fine est très-difficile à démêler au microscope. Ce tissu est composé de fibres transparentes entremêlées de globules semblables à ceux qui existent sur les parois des cellules, ces globules sont disposés en séries longitudinales. Ce tissu fibreux correspond en dehors, aux trachées *d*, et en dedans il est recouvert par une couche de cellules mamelonnées *g* qui, pour la plupart, sont remplies d'air. Ainsi ce tissu fibreux *f* est compris entre deux plans d'organes pneumatiques ; aussi allons-nous voir que l'oxygène est éminemment nécessaire à ce tissu pour opérer l'incurvation qui lui est propre, incurvation dont on ne peut prévoir le sens ; car on n'aperçoit aucun décroissement de grosseur dans les fibres extrêmement petites dont il est en majeure partie composé. Il n'en est pas de même pour le tissu cellulaire *c*. Les deux ordres de décroissement qu'offre la grandeur de ses cellules vers le dehors *a* et vers le dedans où sont les trachées *d*, indiquent que ce tissu cellulaire est susceptible de se courber en dirigeant sa concavité vers le dedans ou vers le dehors de la corolle. Or, comme l'épaisseur de la couche de cellules dont la grandeur décroît vers le dehors de *c* vers *a* est plus grande que ne l'est l'épaisseur de la couche de cellules qui décroissent de grandeur vers le dedans de *c* vers *d*, il en résulte que, lors de la turgescence de ces cellules, le tissu total qu'elles composent doit se courber en dirigeant sa concavité vers le dehors *a*. Il est à noter que c'est la nervure de la corolle *épanouie* qui est observée ici ; cette même nervure, observée douze heures au moins avant l'épanouissement, offre au contraire dans sa couche de cellules décroissantes de grandeur de *c* vers *d* plus d'épaisseur que dans sa couche *c a*, en sorte qu'alors le tissu cellulaire total qui s'étend de *a* en *d* doit tendre à se courber en dirigeant sa concavité vers le dedans *b*, lorsque les cellules qui le composent sont dans l'état de turgescence. C'est aussi ce que l'expérience démontre ainsi que je vais le faire voir.

Dans un jour de l'été, j'ai cueilli à cinq heures du matin une fleur en bouton du *mirabilis jalappa*, laquelle devait s'épanouir le soir (figure 1), et j'ai isolé une des nervures de sa corolle jusqu'à l'endroit où elle commence à se rétrécir en tube (figure 5). Cette nervure courbée en *dedans*, ayant été plongée avec ce qui reste ici de la fleur dans l'eau, sa courbure en dedans augmenta considérablement. Alors ses cellules étaient turgescentes par l'effet de l'endosmose implétive. Je transportai cette fleur ainsi préparée dans du sirop de sucre. La nervure courbée en *dedans* se redressa d'abord, puis se courba en *dehors*. Alors ses cellules s'étaient désemplies ou vidées en partie par l'effet de l'endosmose déplétive (voir page 19), le sirop étant plus dense que le liquide intérieur de ces cellules. Il résulte de cette expérience que, dans l'état naturel, la nervure de la corolle *en bouton* est courbée en dedans par l'effet de l'endosmose implétive qui rend ses cellules turgescentes.

Le même jour à deux heures après-midi, j'ai cueilli une nouvelle fleur en bouton devant de même s'épanouir le soir, et j'ai isolé une de ses nervures, comme dans l'expérience précédente. Cette nervure était dans l'air courbée en dedans, mais l'ayant plongée dans l'eau elle se redressa d'abord et ensuite se courba profondément en dehors (figure 6), elle agit alors comme elle l'eût fait naturellement le soir pour épanouir la corolle. L'ayant transportée dans du sirop de sucre, la nervure courbée en dehors se redressa et se courba ensuite en dedans. C'était alors le résultat de la déplétion de ses cellules par l'effet de l'endosmose déplétive ; ainsi la courbure en dehors de cette nervure (fig. 6) était le

sition avec les nervures isolées que l'on voit dans les fig. 5, 6, 7, 8 et 9.

résultat de la turgescence de ses cellules par l'effet de l'endosmose implétive. C'est donc, dans l'état naturel, l'endosmose implétive des cellules provoquée par l'abondance de la séve lymphatique qui produit l'épanouissement de la corolle. Si cet épanouissement n'a lieu que le soir, cela provient évidemment de ce que la diminution de la lumière et celle de la chaleur occasionnent la diminution de la transpiration végétale, ce qui favorise l'accumulation de la séve lymphatique dans le tissu organique de la corolle. L'eau dans laquelle j'avais plongé à deux heures après-midi la nervure de la corolle en bouton, avait produit prématurément pour cette nervure l'accumulation dans son tissu de la séve lymphatique et par suite avait provoqué le mouvement d'incurvation qui préside à l'épanouissement.

La nervure de la corolle en bouton cueillie le matin (fig. 5), et la nervure de la corolle en bouton cueillie dans l'après-midi du même jour (fig. 6), affectant des courbures inverses, lorsque l'endosmose implétive rend leurs cellules turgescentes, cela prouve que pendant le peu d'heures qui se sont écoulées entre ces deux époques, il s'est opéré un changement dans l'organisation des nervures de la corolle. Ce changement est une augmentation du développement de la couche cellulaire qui s'étend de *a* en *c* (fig. 4), couche qui devient alors plus épaisse que la couche cellulaire qui s'étend de *c* en *d*. Il en résulte que l'incurvation qui, dans ce tissu turgescent, s'opérait auparavant de manière à ce que sa concavité fût dirigée vers le dedans *b* de la corolle, s'opère actuellement dans le sens opposé, c'est-à-dire que la courbure de ce tissu turgescent a lieu de manière à ce que sa concavité soit dirigée vers le dehors *a* de la corolle; on sera peu étonné de la rapidité de ce changement organique en observant la vitesse avec laquelle s'opère le développement de la corolle dans les heures qui précèdent son épanouissement.

Le tissu cellulaire dont l'épaisseur s'étend de *a* en *d* (fig. 4) est ainsi l'agent de l'incurvation, *en dedans*, des nervures (fig. 5) dans la corolle en bouton, et il est également l'agent de l'incurvation, *en dehors*, de ces mêmes nervures (fig. 6) dans la corolle épanouie. La turgescence des cellules, par implétion d'eau ou par endosmose implétive, est, dans l'un et dans l'autre cas, la cause de l'incurvation. Il s'agit actuellement de savoir quel est l'agent de l'incurvation nouvelle, *en dedans*, de ces mêmes nervures lors de l'occlusion de la corolle : c'est ce que l'observation va dévoiler.

Je viens de faire voir que la nervure de corolle, épanouie ou voisine de l'épanouissement, étant isolée et plongée dans l'eau, se courbe en dehors (fig. 6). Or, en laissant dans l'eau cette nervure ainsi courbée, on la voit au bout de six ou huit heures quitter cette courbure et commencer à prendre, par son sommet, une courbure inverse (fig. 7); cette nouvelle incurvation augmente assez vite (fig. 8), en sorte que cette nervure isolée se trouve tout entière roulée en spirale, vers le dedans de la corolle. C'est là l'incurvation qui, dans l'état normal, opère l'occlusion de la fleur ou son *sommeil* (fig. 3). Certes, c'est un phénomène bien singulier que celui qui est présenté ici par une nervure de corolle isolée et plongée dans l'eau; cette nervure, prise dans la fleur en bouton, voisine de l'épanouissement et encore courbée en dedans, étant plongée dans l'eau, elle y prend immédiatement la courbure qui, dans l'état naturel, opère l'épanouissement ou le réveil de la corolle, et ensuite elle y prend de même spontanément la courbure inverse qui est celle qui, dans l'état naturel, opère l'occlusion ou le sommeil de la corolle. Cette succession de phénomènes est tout à fait indépendante de l'action de la lumière, car elle a lieu de même dans l'obscurité complète. J'ai fait voir que la courbure qui opère l'épanouissement (fig. 6), chez la nervure plongée dans l'eau, est due à l'endosmose qui introduit ce liquide dans ses cellules de manière à les rendre turgescentes; mais comment se fait-il que la nervure, qui s'est ainsi courbée dans l'eau, y prenne subséquemment une courbure inverse (fig. 8)? à coup sûr

il n'est point survenu de changement d'organisation dans cette nervure isolée, de manière à donner lieu, chez elle, à une incurvation dans un sens nouveau, ainsi que cela a eu lieu précédemment pour la nervure de fleur cueillie le matin (fig. 5) comparée à la nervure de fleur cueillie après midi (fig. 6). J'ai fait voir, en effet, que ces deux nervures, isolées et plongées dans l'eau, se courbent par endosmose implétive dans des sens inverses, en sorte que la présence extérieure de l'eau produit ici deux courbures en sens opposés; j'ai prouvé, par une expérience décisive, que dans ces deux cas, l'incurvation est également due à l'endosmose implétive des cellules. Cette expérience a consisté à plonger ces deux nervures dans du sirop de sucre, lequel, en provoquant l'endosmose déplétive des cellules de ces nervures, occasionna leur courbure dans un sens inverse de celui qu'elles avaient pris dans l'eau. Or, j'ai soumis à la même épreuve la nervure (fig. 8) qui avait pris secondairement la courbure spiralée en dedans, quoique toujours plongée dans l'eau, laquelle d'abord avait provoqué sa courbure en dehors; cette nervure courbée en spirale (fig. 8) conserva dans le sirop cette même courbure, en sorte que je fus assuré que cette courbure secondaire n'était point due à l'endosmose; il me parut dès lors certain que cette courbure spiralée n'avait point pour agent le tissu cellulaire *c* (figure 4), mais bien le tissu fibreux *f* dont la fonction m'était encore inconnue; pour savoir à quoi m'en tenir, à cet égard, je pris une corolle épanouie de *mirabilis jalappa*, et avec un instrument bien tranchant, je fendis une de ses nervures dans le sens de son épaisseur, de manière à séparer le tissu cellulaire *c* du tissu fibreux *f*; cette opération n'est pas très-difficile à pratiquer, parce que la nervure fait saillie à la face externe de la corolle, en sorte que cette saillie, spécialement formée par le tissu cellulaire *c*, peut être détachée par la section du tissu fibreux *f* qui demeure alors dans l'épaisseur de la corolle. Cette opération faite, j'enlevai le tissu membraneux adhérent à droite et à gauche à la moitié de nervure qui contenait le tissu fibreux *f*, et je plongeai dans l'eau cette nervure isolée et fendue en deux (fig. 9). A l'instant, la moitié externe *c* de cette nervure se courba fortement en *dehors* et se roula même en spirale. Cette moitié composée par le tissu *c* (figure 4) est donc celle qui, par l'endosmose implétive de ses cellules, courbe la nervure en dehors pour opérer l'épanouissement; quant à la moitié interne *f* (figure 9) de la nervure, elle se courba en *dedans*, ce qui me fit voir que cette moitié interne, formée par le tissu fibreux *f* (figure 4), est l'agent de la courbure secondaire de la nervure en *dedans* pour opérer l'occlusion de la corolle. L'expérience qui vient d'être exposée prouve que les deux courbures en sens inverse du tissu cellulaire *c* et du tissu fibreux *f* (figure 4), tendent en même temps à s'effectuer. Ainsi, lors de l'épanouissement la nervure étant courbée en dehors par l'action d'incurvation du tissu cellulaire *c*, il se trouve que le tissu fibreux *f* est courbé *malgré lui* dans ce même sens. Lors de l'occlusion de la corolle, le tissu fibreux *f* devient à son tour vainqueur de son antagoniste le tissu cellulaire *c*, et il l'entraîne *malgré lui* dans le sens d'incurvation en *dedans* qui lui est propre. Je me suis assuré de ce dernier fait en pratiquant sur une fleur dans l'état d'occlusion la division en deux d'une nervure (figure 9), comme je l'avais fait précédemment sur une fleur dans l'état d'épanouissement. Le résultat fut le même; les deux tissus incurvables *c* et *f* se courbèrent dans l'eau le premier en *dehors* et le second en *dedans*. Quelle est la cause de cette courbure en *dedans* du tissu fibreux *f*? Il est évident, par l'expérience rapportée plus haut, que cette cause n'est pas la turgescence de ce tissu par endosmose; il y a donc ici un phénomène tout à fait inconnu.

En réfléchissant à ce singulier phénomène, je fus porté à penser que ce n'était point sans raison que la nature avait prodigué les organes respiratoires au tissu fibreux *f*, lequel est situé entre deux plans d'organes creux remplis d'air. Puisque ce

n'était pas par *implétion de liquide* que le tissu fibreux *f* prenait son état actif de courbure, ce pouvait être par *implétion d'oxygène*. Si ce soupçon était fondé, la nervure qui, plongée dans l'eau aérée, y prenait d'abord l'incurvation en dehors, qui est celle du réveil, et qui y prenait subséquemment l'incurvation en dedans, qui est celle du sommeil; cette nervure, dis-je, plongée dans l'eau non aérée, devait y conserver invariablement sa première incurvation en dehors qui est celle du réveil, incurvation qui est due à l'endosmose du tissu cellulaire. Cette nervure ne devait, ainsi, jamais présenter l'incurvation en dedans qui est celle du sommeil, et que je pensais devoir être due à l'oxygénation du tissu fibreux *f* (figure 4). Je dois dire d'abord que, lorsqu'on plonge une partie végétale peu épaisse dans l'eau non aérée, celle-ci dissout promptement l'air contenu dans les organes pneumatiques de cette partie végétale et prend la place de cet air, en sorte qu'il n'y a plus d'oxygène respiratoire dans cette partie végétale. L'expérience justifia mes prévisions. Une nervure de fleur de *mirabilis* plongée dans l'eau non aérée y prit et y conserva invariablement son incurvation de réveil. J'avais mis cette eau non aérée qui contenait la nervure en expérience dans un flacon bouché avec son bouchon de cristal sans enfermer d'air avec l'eau [1], en sorte que l'eau non aérée, à l'abri du contact de l'air atmosphérique, n'en pouvait point dissoudre. Cette nervure resta donc constamment courbée en dehors, comme on le voit dans la figure 6. Elle y devint même beaucoup plus courbée qu'elle ne l'eût été dans l'eau aérée. Quant à la courbure secondaire en dedans ou à l'incurvation de sommeil, telle qu'on la voit dans les figures 7 et 8, elle ne se manifesta point. Certain par cette expérience que l'incurvation de sommeil ne se manifeste point dans les nervures de corolle de *mirabilis* plongées dans l'eau non aérée, je voulus voir si le même phénomène se manifesterait dans une de ces corolles soumise à l'expérience dans son entier. Une corolle de *mirabilis* épanouie étant plongée dans l'eau aérée, elle y prend après quelques heures l'état d'occlusion ou de sommeil; or, j'ai expérimenté qu'une corolle épanouie de cette même plante étant plongée dans l'eau non aérée mise à l'abri du contact de l'air atmosphérique, elle y conserve invariablement son état d'épanouissement ou de réveil. On pourrait peut-être penser que l'air contenu dans les organes pneumatiques des nervures de la corolle, agirait en vertu de son élasticité pour produire l'incurvation de sommeil et non en vertu de l'action chimique de l'oxygène qu'il contient. De là viendrait que l'incurvation de sommeil n'aurait point lieu en plongeant la corolle dans l'eau non aérée qui dissout l'air contenu dans les organes pneumatiques et qui prend sa place; mais cela n'est point ainsi. L'expérience m'a prouvé que l'air ne revient jamais dans les organes pneumatiques envahis par l'eau chez les parties végétales qui continuent à demeurer submergées. Or, cela n'empêche pas une corolle de *mirabilis* de prendre l'état de sommeil après deux ou trois jours, lorsqu'on laisse l'eau non aérée dans laquelle elle avait été plongée épanouie, s'aérer par son contact avec l'air atmosphérique. C'est donc indubitablement par l'action chimique de l'oxygène dissous dans l'eau, que le tissu fibreux acquiert la force d'incurvation qui produit l'état de sommeil. Ce tissu fibreux *f* (figure 4) se courbe par implétion d'oxygène comme le tissu cellulaire *c* se courbe par implétion de liquide. Ainsi, chez la fleur des *mirabilis*, le réveil et le sommeil, c'est-à-dire l'épanouissement et l'occlusion de la corolle résultent

[1] On peut priver l'eau de l'air qu'elle tient en dissolution par le moyen de la pompe pneumatique, ou plus simplement par le moyen de l'ébullition prolongée. Je plonge un flacon dans un vase plein d'eau qui est soumise à l'ébullition; lorsque celle-ci est finie, je mets au flacon submergé son bouchon de cristal, en sorte que l'eau qu'il contient se refroidit sans le contact de l'air, et en même temps que l'eau dans laquelle il est plongé.

de l'action alternativement prédominante de deux tissus organiques situés dans les nervures de la corolle et qui tendent à se courber dans des sens inverses. Savoir : 1° un tissu cellulaire qui tend à se courber vers le dehors de la fleur par implétion de liquide avec excès ou *par endosmose;* 2° un tissu fibreux qui tend à se courber vers le dedans de la fleur *par oxygénation.* C'est évidemment pour favoriser l'exercice de la fonction d'incurvation de ce dernier tissu qu'il se trouve placé entre deux plans d'organes pneumatiques; savoir : un plan de trachées *d* et un plan de cellules aérifères *g*. L'intervention de l'oxygène est ainsi *directement* nécessaire pour la production du *sommeil;* cette intervention de l'oxygène est aussi nécessaire, mais *indirectement,* pour la production du *réveil*, parce que cette intervention est nécessaire pour que la corolle attire la séve dans le tissu de ses nervures avec une abondance suffisante pour donner lieu à son implétion par endosmose [1]. Ces faits m'expliquent pourquoi une fleur, mise dans le vide de la pompe pneumatique, y conserve invariablement l'état de réveil ou de sommeil qu'elle a lorsqu'elle y est placée.

C'est un fait nouveau, et d'une haute importance en physiologie, que celui de l'existence d'un tissu qui se courbe par *implétion d'oxygène.* Ce fait s'appliquera facilement à l'incurvation sinueuse de la fibre musculaire, chez les animaux. Mais je reviens à la corolle du *mirabilis jalappa:* j'ai dit plus haut que la nervure de cette corolle en bouton, cueillie de grand matin, étant plongée dans l'eau, y augmente sa courbure naturelle en dedans (fig 5); c'est un effet de la turgescence des cellules par endosmose, ainsi que je l'ai démontré plus haut : or, si on laisse cette nervure séjourner pendant quelques heures dans l'eau, on la voit se rouler en spirale dans le même sens, c'est-à-dire en dedans (fig. 7 et 8); ce second effet, tout pareil à celui qui arrive secondairement à la nervure de corolle épanouie, plongée dans l'eau, est dû de même à l'oxygénation, car il n'a point lieu dans l'eau non aérée. Ainsi la courbure première et immédiate en dedans (fig. 5) a pour agent le tissu cellulaire *c* (fig. 4), dont l'organisation, à cette époque, est apte à opérer l'incurvation de ce tissu *en dedans;* la courbure secondaire (fig. 7 et 8), qui s'opère de même *en dedans,* a pour agent le tissu fibreux *f,* de même que je l'ai exposé plus haut; la nervure de la fleur en bouton, cueillie le matin et plongée dans l'eau, passe donc immédiatement de la courbure, simple en dedans par endosmose à la courbure spiralée *en dedans* par oxygénation, sans passer par l'état intermédiaire de courbure *en dehors* par endosmose, lequel constitue l'épanouissement ou le *réveil.* On conçoit, en effet, que cette nervure d'une fleur cueillie, a dû perdre le progrès de développement cellulaire qui aurait changé le sens de son incurvation par endosmose, si la fleur eût continué d'être liée organiquement à la plante.

Tous ces phénomènes qui sont communs au *mirabilis jalappa* et au *mirabilis longiflôra,* le sont également à l'*ipomea purpurea* : seulement la fleur de cette dernière plante, lorsqu'elle est *en bouton*, a ses nervures courbées en spirale en dedans, comme on le voit dans la figure 10, ce en quoi elle diffère, mais légèrement, de la fleur en bouton des *mirabilis* (fig. 1), chez laquelle les nervures sont simplement courbées en dedans; en outre les cinq nervures de la fleur de l'*ipomea purpurea* ne sont pas *simples*, comme le sont les cinq nervures de la fleur des *mirabilis;* elles sont *complexes*, c'est-à-dire que chacune de ces cinq nervures, qui sont triangulaires, est composée par la réunion de plusieurs nervures parmi lesquelles les deux nervures latérales, qui forment les côtés du triangle, se distinguent par leur grosseur; elles font saillie à la face externe de la corolle. C'est à ces nervures latérales qu'il faut s'adresser, tant pour observer leur structure intérieure, qui est tout à fait semblable à celle des ner-

[1] Voyez dans le Mémoire VIII, page 210.

vures des *mirabilis* (fig. 4), que pour faire des expériences semblables à celles que j'ai faites sur les nervures de la fleur de ces dernières plantes, et que j'ai rapportées plus haut. Les phénomènes que j'ai décrits se passent exactement de la même manière chez les nervures de la fleur de l'*ipomea purpurea*; son épanouissement ou son *réveil* est dû à l'incurvation en dehors, d'un tissu cellulaire turgescent par implétion d'eau, implétion due à l'endosmose; son occlusion ou son *sommeil* est dû à l'incurvation en dedans d'un tissu fibreux turgescent, par implétion d'oxygène : aussi peut-on conserver les fleurs de cette plante, et de même celles de tous les *convolvulus*, dans l'état d'épanouissement ou de *réveil*, en les plongeant dans de l'eau non aérée privée de communication avec l'air atmosphérique; elles demeurent constamment dans cet état, tandis que dans l'eau aérée elles prennent assez promptement l'incurvation spiralée en dedans, qui constitue l'état de sommeil. Si on laisse l'eau non aérée, dans laquelle est une de ces corolles épanouies, en contact avec l'air atmosphérique, elle reprendra de l'air en dissolution et deux jours environ après son immersion, la corolle prendra l'état d'occlusion.

Les phénomènes anatomiques et physiologiques rapportés plus haut, étant exactement les mêmes chez la fleur des *mirabilis* et chez la fleur de l'*ipomea purpurea*, on se demandera sans doute pourquoi la fleur des *mirabilis* se ferme le matin, tandis que la fleur de l'*ipomea* reste épanouie pendant tout le jour. La réponse à cette question est facile : d'abord je ferai remarquer que la fleur de l'*ipomea purpurea* s'épanouit vers le milieu de la nuit, en sorte qu'elle ressemble physiologiquement aux fleurs des *mirabilis*, sous le point de vue de son épanouissement lors de la diminution considérable de la lumière. Souvent j'ai vu, dans l'arrière-saison, cette fleur de l'*ipomea purpurea* s'ouvrir dès dix heures du soir; elle persiste dans l'état d'épanouissement pendant toute la journée qui suit, et elle se ferme dans la soirée. Ainsi, la différence essentielle qui existe physiologiquement, entre cette fleur et celle des *mirabilis*, consiste en cela que cette dernière ne supporte pas, sans se fermer, l'action d'une vive lumière, tandis que la seconde, non-seulement supporte très-bien, sans se fermer, l'action de la plus vive lumière solaire, mais ne se ferme ordinairement que lorsque la lumière a commencé à diminuer, c'est-à-dire le soir; or, cela n'arrive pas toujours ainsi : j'ai observé que dans l'automne, lorsque la température atmosphérique est descendue à environ 15 degrés c. ou 12 degrés R., les fleurs d'*ipomea purpurea*, qui s'épanouissent deux heures environ après le coucher du soleil, ne se ferment que dans la matinée du surlendemain; en sorte qu'elles restent épanouies pendant environ trente-six heures, tandis que leur état d'épanouissement ne dure que la moitié de ce temps environ lorsqu'il fait chaud. Ce phénomène provient évidemment de ce que l'abaissement de la température augmente la lenteur de l'oxygénation du tissu fibreux incurvable par oxygénation et agent du sommeil. La lumière, comme la chaleur, exerce de l'influence sur la rapidité de cette oxygénation. Lorsque le soleil est voilé par d'épais nuages, la fleur des *mirabilis* reste bien plus longtemps ouverte; elle ne se ferme alors que dans l'après-midi; cette fleur, mise dans l'obscurité, se ferme encore plus tard. Dans l'ordre ordinaire des choses, cette même fleur reste ouverte pendant environ douze heures, puisque, s'ouvrant vers sept heures du soir dans le mois d'aout, elle se ferme vers sept heures du matin; la fleur de l'*ipomea purpurea* reste épanouie pendant environ dix-huit heures, puisque s'ouvrant, dans le même mois, vers minuit, elle ne se ferme que vers le coucher du soleil le jour qui suit. Tout atteste donc que la fleur des *mirabilis* est prompte à oxygéner, sous l'influence de la lumière et de la chaleur, son tissu fibreux incurvable qui est l'agent du sommeil, et que la fleur de l'*ipomea purpurea* est lente dans les mêmes circonstances à oxygéner ce même tissu

fibreux dont l'incurvation, par oxygénation, produit l'occlusion de la corolle; voilà pourquoi la fleur de l'*ipomea purpurea* qui, du reste, s'ouvre cinq ou six heures après l'ouverture de la fleur des *mirabilis*, ne se ferme qu'environ douze heures après l'occlusion de cette dernière, et reste ainsi épanouie pendant toute la durée du jour. Il reste actuellement à expliquer pourquoi ces fleurs sont nocturnes sous le point de vue de l'heure de leur épanouissement. Les corolles, devant leur épanouissement à la turgescence d'un tissu cellulaire incurvable par endosmose, doivent offrir ce phénomène à l'époque de la révolution diurne qui offre les circonstances extérieures les plus favorables pour que cette turgescence ait lieu. Or, c'est généralement pendant l'absence du soleil qu'il y a le plus d'humidité dans l'atmosphère; c'est là une première circonstance extérieure favorable à l'épanouissement des fleurs. Viennent ensuite la lumière et la chaleur. La lumière produit deux effets sur les plantes : 1° en donnant de l'activité à la respiration végétale, elle augmente l'afflux de la séve ou son ascension par attraction [1], et il en résulte un état de turgescence pour la partie végétale qui est le siége de cet afflux; 2° la lumière augmente la transpiration végétale, et sous ce point de vue, elle tend à diminuer l'état de *turgescence d'eau* des parties végétales qu'elle frappe. Ainsi, la lumière est à la fois une cause de turgescence cellulaire par implétion d'eau, et une cause de déplétion d'eau ou de séve lymphatique; suivant que l'une ou l'autre de ces deux influences physiologiques de la lumière sera prédominante, le tissu végétal sera turgescent ou désempli. Supposons actuellement qu'une fleur, par sa constitution particulière, soit de nature à éprouver, sous l'influence de la lumière, plus de transpiration qu'elle n'a, sous cette même influence, de force pour attirer la séve lymphatique : cette fleur ne pourra acquérir la turgescence cellulaire, qui doit opérer son épanouissement, que dans l'absence ou lors de la diminution considérable de la lumière; elle s'épanouira le soir ou pendant la nuit. Supposons que chez une autre fleur il y ait, au contraire, sous l'influence de la lumière, plus d'attraction de la séve lymphatique, qu'il n'y a de transpiration : il y aura alors chez cette fleur turgescence cellulaire, et elle prendra son état d'épanouissement sous l'influence de la lumière. Ces faits donnent l'explication de toutes les différences qui existent entre les fleurs, sous le point de vue de l'époque diurne ou nocturne de leur épanouissement ou de leur réveil. Quant à l'époque de l'arrivée de leur occlusion ou de leur sommeil, elle dépend de la rapidité plus ou moins grande avec laquelle s'opère l'oxygénation de leur tissu fibreux qui est l'agent du sommeil. Il est des fleurs dont le sommeil arrive très-peu de temps après le réveil; il en est d'autres chez lesquelles ces deux phénomènes sont séparés par un espace de temps plus considérable. C'est sur ces différences que sont fondés les phénomènes que présentent les fleurs, sous le point de vue des heures diverses auxquelles arrivent leur réveil et leur sommeil, phénomènes dont Linné a fait un catalogue sous le nom d'*Horloge de Flore*. Au reste, il faut bien se donner de garde de considérer cette *horloge* comme exacte, les heures du réveil et du sommeil des fleurs variant suivant le degré de lumière, suivant la température, et même souvent, suivant l'état de sécheresse ou d'humidité de l'atmosphère.

Les fleurs dont je viens d'étudier le réveil et le sommeil ne présentent qu'une seule fois chacun de ces deux états; il était fort important d'étudier, sous ce point de vue, les fleurs dont la vie est plus longue et qui présentent plusieurs alternatives de réveil ou d'épanouissement et de sommeil ou d'occlusion. Une plante fort commune, le pissenlit (*leontadon taraxacum*) est celle que j'ai choisie pour faire cette observation. La fleur de cette plante synanthérée vit ordinairement pendant deux jours et demi, en sorte qu'elle

[1] Voyez dans le mémoire VIII, page 210.

présente pendant deux jours le réveil le matin et le sommeil le soir; le troisième jour elle présente encore le *réveil* le matin et dans le milieu du jour elle prend son dernier sommeil, qui est suivi de la mort. Dans le réveil, les demi-fleurons dont cette fleur est composée se courbent en dehors et la fleur est épanouie; dans le sommeil les demi-fleurons se courbent en dedans et la fleur est dans l'état d'occlusion. Les demi-fleurons les plus extérieurs, étant les plus grands, sont ceux qui présentent le plus de facilité pour l'observation. La figure 11 (pl. 15) représente un de ces demi-fleurons amplifié, et dans l'état de réveil; la figure 12 le représente dans l'état de sommeil. Chez la plupart des chicoracées, les incurvations inverses et alternatives qui constituent le réveil et le sommeil, ont exclusivement leur siége dans le cornet *a* du demi-fleuron, la partie supérieure et colorée *b* de ce demi-fleuron ou sa languette, n'y participe point du tout; chez le pissenlit le demi-fleuron tout entier se courbe en dehors dans le réveil parfait, et il se courbe de même tout entier en dedans lors du sommeil profond. Ainsi ces demi-fleurons présentent beaucoup de facilité pour l'observation des phénomènes du réveil et du sommeil. L'étude de leur organisation intérieure offre plus de difficulté à raison du peu d'épaisseur des petites nervures qui existent dans le tissu de leur corolle, nervures qui doivent être, et qui sont en effet, les agents des incurvations opposées et alternatives auxquelles sont dus le réveil et le sommeil. Pour observer leur organisation intérieure, il faut déchirer le tissu de la corolle en lanières longitudinales aussi fines qu'il est possible de les obtenir. De cette manière, on finit par isoler une des petites nervures longitudinales de cette corolle, et comme elle se courbe en cercle *en dehors* dans l'eau dont on la couvre sur le porte-objet du microscope, il en résulte qu'elle présente le côté à l'œil de l'observateur, en sorte qu'on peut apercevoir son organisation dans le sens de son épaisseur, ce qu'il importait d'obtenir. Voici quelle est cette organisation : La figure 14 représente l'épaisseur d'une nervure du demi-fleuron; au-dessous de l'épiderme de sa face interne ou supérieure *b*, on aperçoit des rangées longitudinales de cellules allongées *c* disposées en séries rectilignes et couvertes d'une grande quantité de globules de couleur jaunâtre qui s'opposent quelquefois à ce qu'on puisse facilement distinguer les cellules dont ils tapissent les parois. On rend l'observation de ces cellules plus facile au moyen d'un peu de solution de potasse caustique qui rend ce tissu plus transparent. Ce tissu cellulaire *c* offre ses plus grandes cellules dans la partie de son épaisseur qui est peu éloignée de la face supérieure *b*, où les cellules superficielles sont plus petites, ce qui établit un léger décroissement de grandeur des cellules de l'intérieur du demi-fleuron vers sa face supérieure *b*. Ce tissu cellulaire, dans le reste de son épaisseur qui est plus considérable, offre le décroissement de grandeur de ses cellules vers un plan de trachées *d* situées à peu de distance de la face externe ou inférieure *a* du demi-fleuron. Cette face qui, considérée dans les demi-fleurons de la rangée la plus extérieure, offre dans son milieu une bande longitudinale verdâtre, est occupée superficiellement par des cellules mamelonnées *g* qui sont, pour la plupart, remplies d'air. Entre ce plan de cellules superficielles *g* et le plan de trachées *d*, se voit une couche mince de tissu fibreux *f*, lequel est composé de fibres transparentes entre les faisceaux desquelles se voient des globules excessivement petits. Il est facile de voir, au premier coup d'œil, que cette organisation intérieure du demi-fleuron est semblable à celle des nervures de la fleur des *mirabilis* (figure 4), excepté que la disposition des parties composantes y est inverse. Dans la nervure de la fleur des *mirabilis* et de l'*ipomea purpurea*, le tissu cellulaire *c* (figure 4) est voisin de la face externe ou inférieure *a* de la corolle, tandis que le tissu fibreux *f*, compris entre un plan de trachées et un plan de cellules pneumatiques superficielles, est voisin de la face interne ou supérieure *b*

de cette même corolle. La disposition de ces parties est inverse dans les nervures des demi-fleurons chez le pissenlit. Le tissu cellulaire *c* (figure 14) est voisin de la face supérieure *b*, et le tissu fibreux *f*, compris de même entre deux plans d'organes pneumatiques, est voisin de la face inférieure *a*. Cette inversion, au reste, ne change rien aux fonctions de ces parties composantes. Il est évident que chez le pissenlit, le tissu cellulaire *c* est le tissu *incurvable par endosmose*, et que le tissu fibreux *f* est le tissu *incurvable par oxygénation*, ainsi que cela a lieu chez les *mirabilis*. Le premier est, par conséquent, l'organe qui opère l'incurvation *en dehors* de chaque demi-fleuron (figure 11), incurvation à laquelle est dû l'épanouissement ou le réveil de la fleur. Le second est l'organe qui opère l'incurvation *en dedans* de chaque demi-fleuron (figure 12), incurvation à laquelle est due l'occlusion de la fleur ou son sommeil. Ainsi, ces deux tissus incurvables quoique placés d'une manière inverse chez les *mirabilis* et chez le pissenlit, se courbent dans le même sens, c'est-à-dire que le tissu incurvable par endosmose se courbe *en dehors* et que le tissu incurvable par oxygénation se courbe *en dedans*, pour opérer l'un le *réveil* et l'autre le *sommeil* de la fleur. On sent que l'extrême exiguïté de l'épaisseur de ces tissus incurvables chez le pissenlit, ne permet pas de les séparer l'un de l'autre pour expérimenter directement quel est le sens de l'incurvation propre à chacun d'eux, mais l'analogie ne permet pas ici d'avoir des doutes à cet égard. L'expérience, d'ailleurs, prouve directement que le réveil est dû à la turgescence d'eau ou à l'endosmose implétive, et que le sommeil est dû à l'oxygénation. En effet, le demi-fleuron de la fleur du pissenlit étant cueilli de grand matin lorsqu'il a encore l'incurvation du sommeil (figure 12), et étant plongé dans l'eau aérée, il y prend de suite l'incurvation contraire (figure 11) qui est celle du réveil. Si on le plonge dans de l'eau non aérée, il y prend une courbure bien plus profonde (figure 13) qui est l'exagération de la courbure du réveil normal, et il y conserve constamment cette courbure. Si l'on transporte ces demi-fleurons ainsi courbés *en dehors* dans du sirop de sucre, ils se courbent *en dedans* (figure 12). Ainsi, il n'y a pas de doute que l'incurvation *en dehors* qui opère le *réveil*, ne soit due à l'endosmose implétive. Si on laisse séjourner pendant quelques heures le demi-fleuron qui est à l'état de réveil (figure 11) dans l'eau aérée, il y prend l'incurvation *en dedans* (figure 12) qui est celle de l'état de sommeil, et cette incurvation n'est point détruite en transportant le demi-fleuron ainsi courbé dans du sirop, ce qui prouve bien que cette incurvation secondaire n'est point due à l'endosmose. Comme cette incurvation secondaire n'a point lieu dans l'eau non aérée, cela prouve qu'elle est due à l'oxygénation. Ainsi, le réveil et le sommeil des demi-fleurons de la fleur du pissenlit, résultent de l'incurvation alternativement prédominante d'un tissu organique incurvable par endosmose et d'un tissu organique incurvable par oxygénation. L'action actuelle de la lumière donne la supériorité de force d'incurvation au tissu cellulaire incurvable par endosmose, l'absence ou la diminution de la lumière laisse prédominer la force d'incurvation du tissu incurvable par oxygénation. Dans chacun de ces deux cas, le tissu incurvable qui a la supériorité d'action, entraîne *malgré lui* le tissu incurvable antagoniste dans le mode de flexion qui lui est propre. La supériorité d'action donnée le matin par la lumière au tissu incurvable par endosmose, provient de deux causes : 1° de ce que, sous l'influence de la lumière, la séve lymphatique afflue dans les demi-fleurons en plus grande abondance; ils attirent alors plus d'eau qu'ils n'en exhalent par la transpiration; 2° de ce que le tissu incurvable par oxygénation a perdu pendant la nuit une partie de sa force d'incurvation, ainsi que je vais le démontrer tout à l'heure. La supériorité d'action que prend le soir le tissu incurvable par oxygénation, provient aussi de deux causes : 1° de la diminution de l'afflux de la séve lymphatique dans le tissu incurvable par

endosmose; 2° de l'augmentation d'oxygénation que subit pendant le jour le tissu incurvable par oxygénation. La diminution de l'afflux de l'eau dans les demi-fleurons pendant la nuit, se prouve par l'observation que j'ai faite que, durant les nuits chaudes et lorsque l'air est sec, les demi-fleurons dans leur état de sommeil ont perdu environ 1/25 de la longueur qu'ils avaient pendant le jour précédent dans leur état de réveil. Ils sont sans doute aussi diminués de largeur, mais cela est insensible. Cette diminution dans les dimensions, provient évidemment de ce que dans l'état de sommeil, pendant l'absence de la lumière, il y a diminution de l'afflux de la séve lymphatique qui rendait les cellules turgescentes. La diminution pendant la nuit de l'oxygénation du tissu incurvable par oxygénation, résulte des expériences suivantes. Ayant ôté le soir quelques demi-fleurons dans l'état de sommeil à une fleur de pissenlit qui devait le lendemain matin reprendre l'état de réveil, je les plongeai dans de l'eau aérée; ils y conservèrent invariablement leur incurvation de sommeil. Le tissu incurvable par oxygénation à l'action duquel était due cette incurvation de sommeil, se courbait alors avec trop de force pour que son incurvation pût être vaincue par la tendance à l'incurvation dans le sens opposé, qui devait être augmentée cependant alors par l'afflux de l'eau dans le tissu incurvable par endosmose. Le lendemain de grand matin, lorsque la fleur était encore pour plusieurs heures dans l'état de sommeil, je lui enlevai de nouveaux demi-fleurons et je les plongeai dans l'eau aérée. Ils ne tardèrent pas à perdre leur incurvation de sommeil, et ils prirent l'incurvation de réveil. Cette seconde expérience, pareille à la première et cependant si différente par ses résultats, prouve que pendant la nuit le tissu incurvable par oxygénation à l'action duquel le sommeil était dû, avait perdu une grande partie de sa force d'incurvation *en dedans*, puisqu'elle était alors vaincue promptement par l'action antagoniste du tissu incurvable par endosmose, lequel la veille au soir n'avait pu obtenir cette victoire. Il demeure prouvé par ces faits, que le tissu incurvable par oxygénation, acquiert de la force et par conséquent de l'oxygène pendant le jour, et qu'il perd une portion de cette force et par conséquent une portion de son oxygène pendant la nuit. C'est très-probablement alors en formant de l'acide carbonique, qu'il perd une partie de son oxygène acquis sous l'influence de la lumière. Malgré cette perte nocturne d'une partie de l'oxygène acquis pendant le jour, il paraît que cette substance s'accumule de plus en plus dans le tissu incurvable par oxygénation, car lorsque le dernier sommeil arrive le troisième jour de la vie de la fleur du pissenlit, il offre une incurvation des demi-fleurons beaucoup plus profonde que celle que présentait leur sommeil des deux jours précédents, ce qui me paraît être le résultat de l'oxygénation excessive du tissu qui se courbe par implétion d'oxygène fixé. L'absence de la lumière n'occasionne donc pas l'élimination complète de l'oxygène fixé dans ce tissu pendant le jour, et il résulte de là l'accumulation progressive de cette substance dans le tissu organique qu'elle encombre, ce qui constitue son état de *vieillesse* et amène sa mort. Cette théorie me paraît d'autant plus plausible, qu'elle est complétement d'accord avec des faits du même genre que j'ai exposés dans un autre Mémoire [1].

J'ai rapporté au commencement de ce mémoire les expériences que j'ai publiées en 1851, et qui m'ont fait voir que les fleurs placées dans le vide de la pompe pneumatique y conservent invariablement celui des deux états de réveil ou de sommeil qu'elles possèdent au moment où elles y sont placées. La conservation de l'état de réveil par les fleurs placées dans le vide est une conséquence nécessaire de la paralysie du tissu fibreux incurvable

[1] De l'usage physiologique de l'oxygène, considéré dans ses rapports avec l'action des excitants. Voyez plus bas.

par oxygénation, et agent du sommeil, paralysie occasionnée par la soustraction de l'air respirable ; quant à la conservation de l'état de sommeil par les fleurs placées dans le vide lorsqu'elles sont dans cet état, cela provient du défaut d'afflux de la séve lymphatique dans le tissu cellulaire incurvable par endosmose et agent du réveil. Les plantes fleuries qui ont été soumises à ces expériences trempaient dans l'eau par l'extrémité inférieure de leurs tiges, en sorte que l'eau ou la séve lymphatique ne pouvait parvenir aux fleurs que par l'attraction qu'elles exercent sur ce liquide dans l'état naturel. Or, j'ai prouvé dans un autre mémoire [1] que l'ascension de la séve lymphatique par attraction cesse d'avoir lieu lorsque la respiration végétale est suspendue ; or, la respiration des fleurs est complétement suspendue dans le vide ; elles ne peuvent donc plus attirer la séve lymphatique, dont l'afflux est indispensable pour occasionner la turgescence par endosmose, et par suite l'incurvation de leur tissu cellulaire agent du réveil : voilà pourquoi leur sommeil persiste dans le vide lorsqu'elles y sont placées dans cet état. Au reste, je dois dire que j'ai fait ces expériences sur des fleurs cueillies le soir lorsqu'elles venaient de prendre l'état de sommeil, état que l'incurvation du tissu cellulaire par endosmose ne peut faire cesser alors, ainsi que je l'ai fait voir plus haut. Le réveil est véritablement impossible le soir, en raison de la trop forte oxygénation du tissu fibreux agent du sommeil : peut-être le réveil d'une fleur aurait-il lieu dans le vide si elle y était placée le matin et récemment cueillie, car alors le réveil est devenu plus facile en raison de la désoxygénation partielle du tissu fibreux pendant la nuit. Le réveil de la fleur serait probablement alors encore plus facile si la plante à laquelle elle appartient tenait au sol par ses racines, par l'impulsion desquelles elle recevrait la séve lymphatique ascendante. Ce sont des expériences à faire [2].

§ II. — *Du réveil et du sommeil des feuilles.*

Bonnet est le premier qui ait tenté d'expliquer les phénomènes du réveil et du sommeil des feuilles [3] ; fondé sur cette hypothèse erronée de Dodart, que le tissu des racines se contracte par l'humidité, et que le tissu des tiges se contracte par la sécheresse, et que c'est à cela que l'on doit attribuer la descente des racines et l'ascension des tiges, Bonnet crut pouvoir expliquer la position relevée que les folioles du *robinia pseudo-acacia* affectent pendant le jour et la position abaissée qu'elles présentent pendant la nuit, à ce que la face supérieure de ces folioles se contracterait par l'effet de la sécheresse pendant le jour, tandis que leur face inférieure se contracterait par l'effet de l'humidité du soir. Il crut prouver cette assertion par une expérience assez étrange : il construisit des feuilles artificielles, leur face supérieure était en parchemin, dont le tissu se resserre par l'effet de la sécheresse, et leur face inférieure était en toile, dont le tissu se resserre par l'effet de l'humidité ; présentant ensuite ces feuilles artificielles à l'action successive d'une forte chaleur et de l'humidité, il leur fit exécuter des mouvements qu'il crut comparables à ceux que les folioles de l'acacia exécutent pour prendre leurs positions de réveil et de sommeil. Cette expérience et l'hypothèse qu'elle devait appuyer ont autrefois trouvé des admirateurs; aujourd'hui elles sont avec juste raison reléguées parmi les nombreuses aberrations de l'esprit

[1] Voyez le mémoire VIII, page 210.

[2] Je n'avais point de machine pneumatique à ma disposition à la campagne, où j'ai fait la plupart des observations et des expériences contenues dans ce mémoire. Celles des expériences que j'y rapporte, et qui sont faites dans le vide, sont déjà anciennes; quelques-unes ont été publiées ; d'autres étaient restées inédites.

[3] Recherches sur l'usage des feuilles.

humain. M. de Candolle [1] a envisagé sous leur vrai point de vue les phénomènes du réveil et du sommeil des feuilles, en reconnaissant qu'ils dépendent essentiellement de l'influence de la lumière. Il est parvenu à intervertir les époques habituelles du réveil et du sommeil chez des sensitives éclairées artificiellement pendant la nuit et mises à l'obscurité pendant le jour.

Les mouvements par lesquels les feuilles prennent les positions alternatives de réveil et de sommeil sont exécutés par certains renflements qui chez les feuilles composées sont situés à la base du pétiole commun, à la base de chaque pinnule, et qui composent en entier le court pétiole particulier de chaque foliole. Chez les feuilles simples qui ont un réveil et un sommeil, il y a un *renflement moteur* à la base du pétiole, et il y en a un autre à son sommet, ou plutôt à la base de la nervure médiane de la feuille ou des nervures qui convergent au sommet du pétiole. Dans ce cas, le limbe de la feuille exécute des mouvements de réveil et de sommeil sur le pétiole. Ces divers mouvements sont dus à l'incurvation et quelquefois à la torsion des parties organiques qui entrent dans la composition des *renflements moteurs*. Ainsi c'est par incurvation que les feuilles et les folioles de la sensitive, du haricot, etc., prennent les positions de réveil et de sommeil; les folioles de la feuille des casses joignent la torsion à l'incurvation de leurs renflements moteurs pour prendre la position de sommeil. Cette double action fait qu'en dirigeant leurs sommets vers la terre, les folioles opposées s'appliquent les unes sur les autres par leurs faces supérieures.

Les phénomènes du réveil et du sommeil, si fugaces chez les fleurs dont la vie est de courte durée, s'observent pendant longtemps chez les feuilles, puisque la durée de leur vie est de plusieurs mois.

Le haricot est, parmi les plantes indigènes, celle dont la feuille offre le plus de facilité pour l'étude de ces phénomènes, à raison de la grosseur des *renflements moteurs* qui constituent à eux seuls le court pétiole particulier des folioles de cette feuille, folioles dont le réveil et le sommeil sont si remarquables. Dans le sommeil, les folioles du haricot dirigent leur pointe ou leur sommet vers la terre : le plan de la foliole est alors vertical; dans le réveil, le plan des folioles redevient horizontal. Cependant cela n'a pas toujours lieu, parce que les folioles ayant une *nutation* très-marquée, elles tendent toujours à diriger leur face supérieure vers le soleil lorsqu'il n'est point voilé par des nuages.

C'est exclusivement sur le renflement moteur ou sur le pétiole des folioles qu'agit la lumière pour déterminer le réveil par sa présence et le sommeil par son absence; son action sur le limbe de la feuille est ou paraît être nulle pour cet objet, ainsi que le prouve l'expérience suivante : j'ai enlevé toute la partie membraneuse des folioles d'une feuille de haricot, en laissant subsister une portion de leur nervure médiane, afin de pouvoir observer leurs mouvements d'élévation ou d'abaissement; ces mouvements qui constituent, le premier le réveil et le second le sommeil, continuèrent d'avoir lieu; j'ai observé de même qu'une feuille de sensitive étant dépouillée de ses folioles, le pétiole continue de présenter ses mouvements d'abaissement ou de *sommeil*, et d'élévation ou de *réveil*. Il est donc incontestable que ce sont les pétioles, ou plutôt leurs *renflements moteurs*, qui seuls éprouvent de la part de la lumière l'influence qui les détermine à prendre les incurvations qui constituent le sommeil et le réveil.

Pour étudier la structure intérieure du renflement moteur de chaque foliole de la feuille du haricot, j'ai soumis au microscope des tranches minces enlevées transversalement et longitudinalement sur ces renflements moteurs. La figure 1, planche 16, représente leur coupe trans-

[1] Mémoire sur l'influence de la lumière artificielle sur les plantes; dans les Mémoires des savants étrangers de l'Institut, tome 1.

versale. On voit au-dessous de l'enveloppe tégumentaire une couche épaisse de cellules *c* dont les parois offrent une multitude de globules cellulaires. Ces cellules augmentent insensiblement de grandeur en allant vers le centre. Cet accroissement de grandeur des cellules s'arrête à peu près aux trois quarts de l'épaisseur de cette couche cellulaire : c'est là que se trouvent les plus grandes cellules. A partir de cet endroit, les cellules vont en décroissant de grandeur vers le centre; les plus internes *b* sont remplies d'air; elles se dessinent en un cercle blanc sur la coupe transversale du renflement moteur observée à la loupe et à la lumière réfléchie; elles paraissent noires parce qu'elles sont opaques lorsqu'on observe au microscope et par transparence une tranche mince et transversale du renflement moteur. C'est à ces caractères que l'on reconnaît le tissu cellulaire rempli d'air, et qu'on le distingue du tissu cellulaire rempli de liquides. Ce dernier, observé par transparence, est toujours plus ou moins diaphane. Telle est la couche épaisse de tissu cellulaire *c* qui recouvre les cellules pneumatiques *d*. Ce tissu cellulaire offrant dans la majeure partie de sa masse le décroissement de ses cellules du dedans vers le dehors, doit avoir pour action générale de se courber de manière à diriger la concavité de sa courbure vers le dehors lorsqu'il devient turgescent. C'est aussi ce que l'expérience démontre, car en plongeant dans l'eau une lame mince enlevée longitudinalement sur ce tissu cellulaire, elle se courbe fortement dans le sens que je viens d'indiquer. Si l'on transporte dans du sirop cette lame ainsi courbée, elle se courbe en sens inverse. Ainsi ce tissu cellulaire est incurvable par endosmose. Il représente par sa disposition un cylindre creux dont toutes les parties longitudinales, si elles étaient séparées les unes des autres, tendraient dans l'état naturel à se courber vers le dehors. Au-dessous des cellules pneumatiques *b* est une couche de tissu fibreux *f* souvent recourbée sur elle-même en demi-cercle dont les extrémités sont jointes imparfaitement en *g*. Ce tissu fibreux est tout à fait semblable à celui dont j'ai plus haut noté l'existence chez les fleurs qui offrent les phénomènes du sommeil et du réveil; mais il est ici beaucoup plus facile à observer, tant dans sa masse que dans sa structure intime. Une lame enlevée longitudinalement sur ce tissu fibreux situé sous le tissu cellulaire, étant plongée dans l'eau aérée, elle s'y courbe en dirigeant la concavité de sa courbure vers le centre du pétiole. Si cette lame est plongée dans l'eau non aérée, elle ne se courbe point du tout. Ainsi ce tissu fibreux est incurvable par oxygénation; il représente par sa disposition un cylindre creux dont toutes les parties longitudinales, si elles étaient séparées les unes des autres, tendraient, dans l'état naturel, à se courber vers le dedans ou vers le centre du pétiole. Au-dessous de cette couche de tissu fibreux *f* se trouve un corps ligneux rayonné composé de tubes séveux et de gros tubes pneumatiques dont on voit ici les ouvertures. Des rayons médullaires divergents traversent ce corps ligneux; ils paraissent contenir du tissu fibreux semblable à celui de la couche *f*; ils partent d'une partie centrale *a* qui est occupée par un faisceau de tissu fibreux exactement semblable, par son aspect et par son organisation, au tissu fibreux de la couche *f*. On reconnaît ce tissu aux ponctuations noires sur un fond transparent qu'il offre sur sa coupe transversale observée au microscope par transparence. Il m'a semblé que ces points opaques étaient les ouvertures de tubes pneumatiques d'une excessive petitesse dont le tissu fibreux *f* et *a* serait pénétré dans toute sa masse. Il est facile de voir que le pétiole représente ici un segment longitudinal de tige, ainsi que je l'ai déjà établi ailleurs [1]. Le tissu cellulaire *c* et *b* appartient au système cortical dont il représente le parenchyme auquel j'ai donné le nom de *médulle corticale*. Le corps ligneux rayonné *d* est la

[1] Voyez le mémoire III, page 108.

moitié de la partie ligneuse du système central avec ses rayons médullaires; le tissu fibreux *a*, qui est au centre, et duquel partent les rayons médullaires, représente la moitié de la moelle ou *médulle centrale*, laquelle est ici métamorphosée en tissu fibreux incurvable par oxygénation. Les rayons médullaires s'étendent de ce tissu fibreux *a* au tissu semblable de la couche *f*. La petitesse du faisceau central du tissu fibreux *a*, m'a empêché de m'assurer par l'expérience du sens de son incurvation, sens qui peut, je pense, être déterminé rationnellement. Ce tissu fibreux central *a* est une métamorphose de la moelle dont il occupe la place, et il ne représente que la moitié longitudinale de cette moelle. Or la moelle, généralement composée de cellules qui décroissent de grandeur du centre vers la circonférence, tend par cela même, lorsqu'elle est turgescente, à courber ses deux moitiés longitudinales séparées en dirigeant leur concavité vers le dehors. Le faisceau central de tissu fibreux *a* qui représente une des moitiés longitudinales de la moelle dont il est une métamorphose, doit donc avoir le même sens d'incurvation que cette moelle si elle existait dans son état normal, c'est-à-dire qu'il doit se courber de manière à diriger la concavité de sa courbure vers le côté *i*, qui est pour lui le véritable *côté de dehors* de la tige dont le pétiole représente seulement la moitié longitudinale; le côté *s* est véritablement le *côté de dedans* de cette moitié longitudinale de tige. Comme le tissu fibreux de la couche *f* tend à se courber en dirigeant sa concavité vers le centre du pétiole ou du renflement moteur, il en résulte que le faisceau central de tissu fibreux *a* est, par le sens de son incurvation, congénère de la partie supérieure de la couche de tissu fibreux *f*, couche qui est ici un peu déprimée en *g* et qui quelquefois est interrompue dans cet endroit. Cette dépression, indice d'une séparation primitive, disparaît tout à fait dans le renflement moteur du pétiole de la sensitive, comme on peut le voir dans la figure 3 (pl. 16). Le tissu fibreux de la couche *f* tendant à se courber *en dedans*, sens d'incurvation qui est celui des couches internes du système cortical, je suis porté à penser qu'il est produit par une métamorphose du liber fibreux de l'écorce; peut-être même, et c'est ce qui me paraît le plus probable, est-il ce liber fibreux lui-même à l'*état naissant*, état dans lequel il aurait des propriétés qui deviennent étrangères au tissu fibreux de l'écorce lorsqu'il a vieilli. La figure 2 (planche 16) représente la coupe longitudinale et médiane de la moitié inférieure du renflement moteur de la foliole de haricot, renflement moteur dont je viens de montrer la coupe transversale. Les mêmes lettres indiquent les mêmes objets que dans la figure 1. Les tubes pneumatiques *d* qui avoisinent en dedans la couche de tissu fibreux *f*, sont de grosses trachées qui sont tellement couvertes de globules, qu'on les prendrait facilement pour des *tubes ponctués* si elles ne se déroulaient pas. J'ai pu observer avec assez de facilité l'organisation intime du tissu fibreux *f* et *a*, en soumettant au microscope des lames extrêmement minces enlevées longitudinalement sur ce tissu. Je n'avais pas pu voir cette organisation d'une manière aussi claire chez les fleurs que j'ai étudiées plus haut. Le tissu fibreux *f* offre deux éléments qui sont associés et mêlés, savoir : des fibres longitudinales, transparentes, d'une finesse extrême, et des globules cellulaires extrêmement petits, placés à la file et formant ainsi des séries longitudinales. Les fibres sont disposées par faisceaux dans les intervalles desquels existent les séries de globules cellulaires. Ces globules sont semblables à ceux que l'on voit sur les parois des cellules de la couche corticale *c* et sur les parois des trachées *d*. Leur nombre prodigieux dans toutes les parties qui jouissent éminemment de l'*excitabilité* prouve, ce me semble, que c'est à l'exercice de cette fonction qu'ils sont destinés. Les fibres de la couche *f* ne sont point partout de la même grosseur; j'ai vu que dans cette couche *f* (figure 2) les fibres les plus grosses sont voisines des cellules pneumatiques *b*, elles ont 1/300 de milli-

mètre de diamètre. Les fibres les plus petites sont voisines des trachées *d;* je leur ai trouvé environ 1/500 de millimètre de diamètre. Cette grosseur décroissante du dehors vers le dedans est évidemment la cause qui fait que lors de l'implétion de leur cavité, ces fibres qui paraissent tubuleuses courbent *en dedans* le tissu qu'elles forment par leur assemblage. La substance qui opère cette *implétion* est ici l'oxygène, aussi la couche *f* de ce tissu incurvable par oxygénation, est-elle comprise entre deux couches d'organes remplis d'air, savoir : en dehors les cellules pneumatiques *b* et en dedans les trachées *d.* J'ai fait voir plus haut, que la même disposition existe chez les fleurs qui possèdent ce même tissu incurvable par oxygénation. La manière dont se fait cette *implétion d'oxygène* ou cette *turgescence des fibres tubuleuses par oxygénation,* me semble facile à comprendre. Admettant que dans ces fibres tubuleuses il existe un liquide qui a beaucoup d'affinité pour l'oxygène, l'addition de cette substance à ce liquide en augmentera nécessairement la masse et produira, par conséquent, la turgescence de ces fibres tubuleuses. Dès lors, l'incurvation du tissu qu'elles forment par leur assemblage, s'opérera de manière que les fibres les plus petites seront à la concavité de la courbure et les fibres les plus grosses à sa convexité.

Les renflements moteurs des folioles de la feuille du *robinia pseudo-acacia* offrent assez exactement la même organisation que celle qui vient d'être exposée pour le haricot, et les phénomènes d'incurvation *par endosmose* et *par oxygénation* que présentent leurs tissus, sont les mêmes. Aussi ces deux plantes offrent-elles de même le *réveil* en élevant leurs folioles et le *sommeil* en les abaissant. Or, chez d'autres plantes c'est l'inverse qui a lieu : ainsi dans la feuille de la sensitive (*mimosa pudica* L.), les folioles sont redressées dans l'état de sommeil et leur plan redevient horizontal dans l'état de réveil. Il n'en est pas de même par rapport au pétiole de la feuille de cette même plante : il s'abaisse dans le sommeil et il se relève dans le réveil, comme cela a lieu pour les folioles de la feuille du haricot. Le renflement moteur situé à la base de ce pétiole et agent de ses mouvements, offre seul assez de grosseur pour pouvoir être soumis à l'observation et à l'expérience. Les renflements moteurs des pinnules et des folioles de cette feuille, sont trop petits pour ce double objet; ainsi, j'ai dû me borner à l'étude de la structure du renflement moteur du pétiole et à l'observation des phénomènes de mouvement qu'il présente. Ce renflement moteur représenté un peu grossi dans la figure 6 (planche 16), est droit *a b* lorsque la feuille est dans l'état de réveil; alors le pétiole est redressé; ce même renflement moteur est courbé vers le bas *c,* lorsque la feuille est dans l'état de sommeil; alors le pétiole est abaissé. Il semblerait que les phénomènes du réveil et du sommeil étant ici les mêmes que ceux que l'on observe dans les folioles du haricot, la structure intérieure du renflement moteur devrait être semblable. Or, l'observation contredit en un point cette induction de l'analogie. J'ai dit en décrivant le renflement moteur de la foliole de haricot, que son tissu cellulaire *c* (fig. 1 et 2) offre deux sens de décroissement de grandeur de ses cellules, savoir : un décroissement prédominant du dedans vers le dehors, et un faible décroissement dirigé vers le centre. Il résulte de cette structure, que ce tissu cellulaire tend généralement à se courber vers le dehors. Or, l'observation apprend que ces deux couches cellulaires à décroissement inverse existent aussi dans le renflement moteur du pétiole de la sensitive, mais ici c'est la couche cellulaire dont le décroissement de grandeur a lieu du dehors vers le centre qui est prédominante; la couche cellulaire dont le décroissement des cellules est inverse, est presque réduite à rien, ainsi qu'on le voit dans la figure 5 (planche 16) qui représente la coupe transversale du renflement moteur du pétiole de la sensitive. La figure 4 représente la coupe longitudinale de la moitié inférieure de ce même ren-

flement moteur. On voit d'abord sous l'enveloppe tégumentaire une couche épaisse de tissu cellulaire *c*, dont les cellules offrent leur décroissement de grandeur prédominant du dehors vers le dedans; il n'y a qu'une couche fort mince des cellules les plus superficielles qui décroissent de grandeur du dedans vers le dehors. On a vu plus haut, que c'est cette dernière couche cellulaire, ici insignifiante, qui prédomine dans le renflement moteur des folioles du haricot. Le sens de l'incurvation du tissu cellulaire dans le renflement moteur du pétiole chez la sensitive, doit donc être inverse de celui qui a lieu dans ce même tissu dans le renflement moteur des folioles chez le haricot. C'est aussi ce que l'expérience démontre. Une lame mince enlevée longitudinalement sur le tissu cellulaire du renflement moteur chez la sensitive étant plongée dans l'eau, elle se courbe fortement de manière à diriger la concavité de sa courbure vers l'axe du pétiole. Si on la transporte dans du sirop de sucre, elle se retourne et se courbe en sens inverse. Ainsi, ce tissu cellulaire est incurvable par endosmose. Dans l'ordre naturel, c'est l'accession de la séve lymphatique arrivant à l'extérieur des cellules par les méats intercellulaires qui détermine leur implétion par endosmose; car elles contiennent un liquide dense qui est coagulable par la chaleur, par les acides et par l'alcool [1], leurs parois offrent une grande quantité de globules verts. La couche la plus intérieure *b* de ce tissu cellulaire ne contient que de l'air dans ses cellules. Au-dessous de ces cellules pneumatiques, se trouve une couche de tissu fibreux *f*; son aspect et son organisation sont entièrement semblables au tissu fibreux incurvable par oxygénation qui occupe la même place dans le renflement moteur de la foliole de haricot. J'aurais voulu m'assurer par une expérience directe, que ce tissu ne se courbait point dans l'eau non aérée, mais je n'ai pu faire cette expérience, parce que chez la sensitive ce tissu fibreux enlevé en une lame mince, n'attend pas qu'il soit plongé dans l'eau aérée pour se courber, il se courbe dans l'air à l'instant même où il est enlevé, en sorte que je n'ai pu voir si son incurvation refuserait de s'opérer en le plongeant dans l'eau non aérée; car cette incurvation une fois prise ne se perd point même dans l'eau non aérée. Au reste, j'ai vu que le sens de l'incurvation de ce tissu fibreux est le même que chez le haricot, c'est-à-dire que la concavité de sa courbure est dirigée vers le centre du pétiole. Au-dessous de ce tissu fibreux qui, bien certainement est incurvable par oxygénation, se trouve une couche ligneuse fort mince reconnaissable à son opacité, ce sont là les tubes séveux qui sont mêlés à de nombreux tubes pneumatiques dont on voit ici les ouvertures en *d*. Au centre enfin, et en remplacement de la moelle se trouve un faisceau de tissu fibreux *a*, entièrement semblable par son organisation au tissu fibreux de la couche *f*, c'est donc aussi du tissu fibreux incurvable par oxygénation; il possède dans son milieu des trachées qui sont remplies d'air et dont on voit ici les ouvertures. La coupe longitudinale de la moitié inférieure de ce renflement moteur, est représentée par la figure 4; les mêmes lettres indiquent les mêmes objets. On y voit que les cellules du tissu cellulaire sont disposées en séries longitudinales, de la même manière que cela a lieu dans le renflement moteur de la foliole de haricot (figure 2). Je ferai remarquer que le tissu cellulaire de la partie inférieure *i* (figure 3), est plus épais que celui de la partie supérieure *s*. Le rapport des épaisseurs de ces deux parties du tissu

[1] J'ai autrefois représenté le tissu du renflement moteur du pétiole de la sensitive comme contenant un grand nombre de corps globuleux opaques. Cette fausse apparence provenait de ce que chaque cellule contenait un coagulum globuleux produit par l'action de l'acide nitrique que j'employais pour dissocier les organes élémentaires des tissus organiques.

cellulaire est à peu près celui de 5 à 3.

Je viens d'exposer la structure de deux renflements moteurs qui, tous deux, opèrent le réveil par le redressement des parties qu'ils meuvent et qui opèrent le sommeil par l'abaissement de ces mêmes parties. Il me fallait encore étudier la structure d'un renflement moteur qui agît dans un sens inverse, c'est-à-dire qui opérât le réveil par l'abaissement, et le sommeil par l'élévation des parties qu'il est chargé de mouvoir ; il fallait en outre que ce renflement moteur fût assez gros pour pouvoir être étudié dans sa structure. J'ai trouvé toutes ces conditions réunies chez l'*hedysarum strobiliferum* L. Le pétiole de la feuille de cette plante prend la position de sommeil en se relevant, jusqu'à toucher presque la partie de la tige située au-dessus de lui (figure 7, *a*, planche 16). Dans sa position de réveil, il s'abaisse en s'éloignant de la tige jusqu'à ce qu'il fasse avec elle un angle de 50 à 60 degrés, *b*; le renflement moteur *c*, agent de ces mouvements est, comme à l'ordinaire, situé à la base du pétiole. Le limbe ici absent de la feuille simple que porte ce pétiole, est mû par un autre renflement moteur situé au sommet de ce pétiole; il abaisse le limbe de la feuille dans le sommeil et il le relève dans le réveil. Comme ces derniers phénomènes sont semblables à ceux que présentent les folioles du haricot, je ne m'en occuperai pas; je fixerai l'attention seulement sur le renflement moteur *c* qui meut le pétiole de la feuille. La figure 5 représente la coupe transversale de ce renflement moteur. On y voit les mêmes tissus qui existent dans tous les autres renflements moteurs, savoir : 1° un tissu cellulaire *c* incurvable par endosmose et tendant ici à se courber vers le dehors parce que ses cellules décroissent principalement du dedans vers le dehors; 2° un tissu fibreux *f* incurvable par oxygénation et tendant à se courber vers le dedans; 3° un tissu ligneux rayonné, dans lequel existent beaucoup de tubes pneumatiques *d*. On remarquera qu'ici l'axe du pétiole est très-excentrique, en sorte que la couche de tissu cellulaire *c* est deux fois plus épaisse au côté inférieur ou externe *i* qu'au côté supérieur ou interne *s*.

Ces faits anatomiques étant établis, il reste à déterminer comment agissent les deux tissus incurvables contenus dans les renflements moteurs, pour opérer les positions de réveil et de sommeil des feuilles et des folioles qu'ils meuvent.

Par une section longitudinale, j'ai retranché toute la moitié supérieure *a* (fig. 6, pl. 16) du renflement moteur du pétiole d'une feuille de sensitive; la moitié inférieure *b* restée seule, s'est courbée de manière à diriger la concavité de sa courbure vers le haut, en sorte que le pétiole s'est trouvé dans un état de redressement exagéré, et cet état a persisté sans éprouver aucune variation. J'ai fait la contre-épreuve : j'ai retranché toute la moitié inférieure *b* du renflement moteur, en laissant subsister la moitié supérieure *a*. Cette dernière s'est fortement courbée de manière à diriger la concavité de la courbure vers le bas, ce qui a fortement abaissé le pétiole, et cet état d'abaissement a persisté invariablement. On pourrait conclure de ces expériences, ainsi que je l'ai fait autrefois, que c'est toute la moitié supérieure *a*, qui, par son incurvation vers le centre du renflement moteur, est l'agent de l'abaissement du pétiole ou de son sommeil, et que c'est toute la moitié inférieure *b* qui, par son incurvation dirigée également vers le centre, opère par son antagonisme le redressement du pétiole ou son réveil. Le tissu cellulaire et le tissu fibreux, contenus dans chacune de ces deux moitiés du renflement moteur, tendent également à se courber vers le centre de ce renflement, en sorte qu'ici l'on serait porté à admettre que ces deux tissus incurvables coopèrent ensemble et au réveil et au sommeil, savoir : au premier par leurs parties contenues dans la moitié supérieure *a* du renflement moteur, et au second par leurs parties contenues dans la moitié inférieure *b*. Il faudrait alors admettre que ces deux moitiés, supérieure et inférieure, qui représentent deux ressorts antagonistes, reçoivent alternativement, le matin

et le soir, un excès de force qui rend chacun de ces ressorts vainqueur du ressort opposé, lequel se trouve alors courbé dans un sens contraire à celui de la tendance naturelle à l'incurvation. C'est à cette théorie que je m'étais arrêté, lors de mes premières recherches sur le mécanisme des mouvements de la sensitive. Je pensais alors que ces mouvements reconnaissaient pour cause unique l'incurvation par endosmose du tissu cellulaire contenu dans le renflement moteur; ma découverte récente de l'existence, dans ce renflement moteur, du tissu fibreux incurvable par oxygénation, n'aurait pas changé peut-être ma théorie à cet égard, si je m'étais borné à l'étude des mouvements qui, chez le pétiole de la sensitive, produisent les positions de réveil et de sommeil. L'étude de ces mêmes mouvements, dans les feuilles de plusieurs autres plantes, m'a fait voir que cette théorie, née d'une expérience trompeuse, devait être abandonnée. En effet, ayant fait sur les renflements moteurs des folioles du haricot les mêmes ablations que j'avais faites sur le renflement moteur du pétiole de la sensitive, j'obtins des résultats exactement semblables; l'ablation de la moitié longitudinale supérieure du renflement moteur fit que la moitié longitudinale inférieure restante se courba vers le haut et redressa la foliole, qui demeura invariablement dans cet état de redressement qui est celui du réveil; l'ablation de la moitié longitudinale inférieure du renflement moteur fit que la moitié longitudinale supérieure restante se courba vers le bas et abaissa la foliole qui demeura invariablement dans cet état d'abaissement. Or, en se reportant à ce qui a été exposé plus haut touchant la structure inférieure du renflement moteur des folioles du haricot (fig. 1 et 2, pl. 16), on voit que son tissu cellulaire *c* tend à se courber vers le dehors, tandis que son tissu fibreux *f* tend à se courber vers le dedans ou vers le centre du pétiole; par conséquent, c'est ici le tissu fibreux *f* qui est le seul agent de l'incurvation vers le dedans que prend une des moitiés longitudinales du renflement moteur, lorsqu'on a opéré l'ablation de la moitié longitudinale opposée; le tissu cellulaire est alors courbé de force dans un sens opposé à celui de sa tendance naturelle à l'incurvation. D'après cela, ce serait ici le tissu fibreux de la couche circulaire *f* (fig. 1) qui, par sa moitié supérieure, opérerait l'abaissement de la foliole ou son sommeil, et ce serait encore ce même tissu fibreux qui, par la moitié inférieure de sa couche circulaire, opérerait l'élévation de la foliole ou son réveil; le tissu cellulaire *c* ne servirait point ainsi à l'exécution de ces mouvements. Cela est trop manifestement contraire à ce qui a été exposé plus haut relativement au mécanisme des mouvements auxquels sont dus le réveil et le sommeil des fleurs, pour qu'une semblable théorie puisse être fondée. J'ai fait voir, en effet, que sur les fleurs, le tissu cellulaire incurvable par endosmose est le seul agent du réveil, et que le tissu fibreux incurvable par oxygénation est le seul agent du sommeil. Il devient donc probable, par analogie, qu'il en est de même par rapport au réveil et au sommeil des feuilles, et l'expérience intervient pour changer cette probabilité en certitude. J'ai fait voir qu'en privant d'oxygène le tissu fibreux incurvable par oxygénation, on paralysait ce tissu agent du sommeil; en sorte que les fleurs soumises à cette expérience conservaient invariablement l'état de réveil; c'est ce qui a lieu lorsqu'on plonge une fleur, à l'état de réveil, dans l'eau non aérée privée de communication avec l'air atmosphérique. J'ai observé que les feuilles susceptibles de réveil et de sommeil, continuent d'offrir ces mouvements alternatifs lorsqu'elles sont plongées dans l'eau aérée, mais ces mouvements éprouvent alors une certaine modification. Leur sommeil dans l'eau est aussi profond que dans l'air, c'est-à-dire que la flexion qui le constitue est aussi profonde, mais leur réveil est incomplet. Ainsi, par exemple, une feuille de *robinia pseudo-acacia*, plongée dans l'eau, offre le sommeil de la même manière que dans l'air, c'est-à-dire, en appliquant ses folioles opposées

l'une contre l'autre par leur face inférieure; mais le réveil qui, dans l'air, va jusqu'à amener les paires de folioles à la position diamétralement opposée, c'est-à-dire jusqu'à leur faire décrire une demi-circonférence de cercle; le réveil, dis-je, de ces folioles plongées dans l'eau, ne va que jusqu'à leur faire décrire environ un huitième de circonférence de cercle, en sorte que leur mouvement de réveil dans l'eau n'est que le quart de ce qu'il est dans l'air. Je ferai voir plus bas quelle est la cause de ce phénomène que je me borne ici à exposer. Or, j'ai expérimenté qu'une feuille de *robinia pseudo-acacia* étant plongée dans l'eau non aérée sans communication avec l'air atmosphérique, ses folioles y prennent et y conservent invariablement la position qui est celle de leur plus grand réveil dans l'eau aérée, leur sommeil n'a plus lieu. Or, comme il est démontré que l'immersion dans l'eau non aérée n'abolit l'incurvation que du seul tissu fibreux incurvable par oxygénation, il en résulte que c'est à ce seul tissu fibreux ici paralysé, qu'était dû le sommeil qui se trouve supprimé. Le réveil, qui est aussi complet qu'il peut l'être dans l'eau, a donc pour agent le seul tissu cellulaire incurvable par endosmose, lequel par son immersion dans l'eau même non aérée se trouve dans une position favorable à l'exercice de l'endosmose qui doit rendre ses cellules turgescentes. Une autre expérience d'un genre analogue faite sur une sensitive, m'a conduit aux mêmes résultats. Ayant placé une sensitive plantée dans un pot sous le récipient de la pompe pneumatique, ses feuilles se ployèrent dès le premier coup de piston, éprouvant, à ce qu'il paraît, une excitation par la diminution de la densité de l'air. Lorsque le vide fut achevé, les feuilles se relevèrent et se déployèrent, et elles restèrent invariablement dans cet état de réveil malgré l'obscurité de la nuit. Cette suppression du sommeil coïncidait encore ici avec l'abolition de l'action du tissu fibreux, lequel se trouvait paralysé par la soustraction de l'air respirable contenu dans les organes pneumatiques de la plante. Il est donc prouvé par ces expériences que, chez les feuilles comme chez les fleurs, le sommeil est dû à l'action du seul tissu fibreux incurvable par oxygénation, d'où il résulte nécessairement que le réveil est également dû chez les feuilles à l'action du seul tissu cellulaire incurvable par endosmose. Il ne s'agit donc plus actuellement que de rechercher comment ces deux tissus incurvables agissent séparément dans les renflements moteurs des feuilles, pour produire leur réveil et leur sommeil. Je prends pour premier exemple la feuille du haricot, dont les folioles s'abaissent dans le sommeil et se relèvent dans le réveil. J'ai fait voir que, dans le renflement moteur de ces folioles, les deux tissus incurvables représentent deux cylindres creux emboîtés l'un dans l'autre (figure 1, planche 16); le tissu cellulaire *c* est en dehors et le tissu fibreux *f* est en dedans. Les deux couches cylindriques emboîtées l'une dans l'autre que forment ces deux tissus, seraient représentées assez exactement par la réunion et la soudure en cylindre creux d'un certain nombre de nervures de fleur de *mirabilis*. J'ai fait voir que chez ces nervures, le tissu cellulaire tend à se courber vers le dehors par endosmose, et que le tissu fibreux tend à se courber vers le dedans par oxygénation, ce qui produit dans le premier cas la position de réveil de ces nervures et dans le second cas leur position de sommeil. Or, il en serait de même chez le renflement moteur de la foliole de haricot, si l'on supposait par la pensée que les deux couches cylindriques, l'une extérieure de tissu cellulaire, l'autre intérieure de tissu fibreux, soient divisées à la fois en faisceaux longitudinaux. Chacun de ces faisceaux serait analogue à une nervure de fleur de *mirabilis;* il aurait en lui, et disposés comme dans cette nervure, les deux tissus incurvables capables d'opérer le réveil et le sommeil. Si l'on supposait entre ces faisceaux un tissu membraneux, cela formerait une corolle susceptible tour à tour d'épanouissement et d'occlusion, ou de réveil et de sommeil. Mais cette séparation des faisceaux longitudinaux n'existe pas dans le renflement moteur; ces faisceaux fictifs sont intime-

ment unis et forment un cylindre creux composé de deux couches. La couche cylindrique de tissu fibreux est emboitée dans la couche cylindrique de tissu cellulaire. Divisons par la pensée chacune de ces couches cylindriques en filets longitudinaux soudés les uns aux autres. Les filets longitudinaux du tissu cellulaire tendront tous à se courber, en dirigeant la concavité de leur courbure vers le dehors. Or, il est évident que, si leur force d'incurvation est égale, la couche cylindrique qu'ils forment par leur assemblage demeurera droite et immobile. Mais si les filets longitudinaux d'un côté du cylindre creux l'emportent en force d'incurvation sur les filets du côté opposé, ceux-ci seront entraînés de force et *malgré eux* dans le sens de l'incurvation effectuée par les filets qui leur sont antagonistes. Le même raisonnement peut être fait par rapport à la couche cylindrique de tissu fibreux, qui est située sous la couche cylindrique de tissu cellulaire. Ainsi chacune de ces deux couches cylindriques de tissus incurvables, agira dans cette circonstance comme s'il n'existait dans chacune d'elles que le seul côté du cylindre creux dont la force d'incurvation est prédominante. Le côté opposé du cylindre dont la force antagoniste d'incurvation sera vaincue, sera courbé *malgré lui* en sens inverse de sa tendance naturelle à l'incurvation, et n'agira que comme modérateur de l'incurvation du côté vainqueur. Ainsi il n'y aura dans chacun des deux cylindres creux que forment les deux tissus incurvables, que le côté le plus fort qui manifestera extérieurement son action, et cela seulement par l'excès de sa force sur celle de l'autre côté du même cylindre creux dont il contrariera et domptera l'incurvation. Ainsi, les deux cylindres creux que représentent les deux couches superposées des deux tissus incurvables, agiront comme si le côté le plus fort de chacun de ces deux cylindres creux existait seul. J'applique cette théorie d'abord à l'explication du mécanisme des mouvements de réveil et de sommeil dans le renflement moteur des folioles du haricot. Le tissu cellulaire *c* (figures 1 et 2, planche 16) est le seul agent du réveil ou de l'élévation de la foliole, et il ne peut opérer ce mouvement que par l'incurvation de la partie supérieure *s* de cette couche cylindrique de tissu cellulaire, parce que c'est la seule partie de cette couche cylindrique qui tende à se courber de manière à diriger vers le ciel la concavité de sa courbure. Il faut donc, pour qu'elle produise l'élévation de la foliole, que son incurvation vers le ciel soit victorieuse de l'incurvation antagoniste de la partie inférieure *i* de cette même couche cylindrique de tissu cellulaire, cette dernière tendant en effet à diriger la concavité de sa courbure vers la terre, et par conséquent à abaisser la foliole. La supériorité de force d'incurvation de la partie supérieure *s* de la couche de tissu cellulaire, ne vient point de la supériorité de son épaisseur; car elle n'est pas plus épaisse que ne l'est la partie inférieure *i* de cette même couche. C'est donc dans des conditions physiologiques spéciales qu'elle puise l'excès de sa force d'incurvation. Cette partie supérieure *s* reçoit directement l'action et l'influence de la lumière à laquelle la partie inférieure *i* est en partie soustraite par sa position. Or, ainsi que je l'ai démontré, la lumière en augmentant la respiration des parties qu'elle frappe, y augmente par cela même l'afflux de la séve lymphatique *par attraction*. Cet afflux de la séve lymphatique dans le tissu cellulaire, est une condition très-favorable à l'exercice de l'endosmose, au moyen de laquelle ce tissu cellulaire acquiert l'état de turgescence qui amène son incurvation. Ainsi, chez le renflement moteur des folioles du haricot, la supériorité de force d'incurvation de la moitié longitudinale supérieure *s* sur la moitié longitudinale inférieure *i* de son tissu cellulaire incurvable, est puisée tout entière dans les conditions physiologiques qui lui sont spéciales et non dans une supériorité de masse. La moitié longitudinale supérieure *s* ainsi fortifiée physiologiquement, pourrait même être un peu inférieure en masse à la moitié longitudinale inférieure *i*, et posséder encore une force d'incurvation supérieure à la sienne. C'est

ce qui a lieu, par exemple, dans le renflement moteur des folioles du *robinia pseudo-acacia*, ainsi que je vais le faire voir tout à l'heure. La cause du relèvement ou du réveil de la foliole du haricot étant ainsi déterminée, je passe à l'étude de la cause de son abaissement ou de son sommeil, qui reconnaît pour agent la couche cylindrique de tissu fibreux *f*, dont toutes les parties concentriques tendent à diriger la concavité de leur courbure vers le centre du pétiole. Cette couche cylindrique paraît moins épaisse en haut ou du côté *s* qu'elle ne l'est en bas ou du côté *i* du renflement moteur. En haut, elle est même très-souvent interrompue. Il semblerait donc que le côté inférieur de cette couche cylindrique de tissu fibreux, étant le plus fort par sa masse, devrait vaincre l'incurvation antagoniste du côté supérieur et par conséquent, relever la foliole; mais c'est ce qui n'a point lieu, puisqu'il est certain que l'abaissement de la foliole ou son sommeil est au contraire produit par l'action du tissu fibreux incurvable par oxygénation. Cette contradiction apparente entre les faits et la théorie, disparaît devant l'observation, qui montre qu'il existe au centre du renflement moteur un faisceau de tissu fibreux *a* (figures 1 et 2), tout pareil à celui de la couche *f*, et dont le sens de l'incurvation doit être tel qu'il tende à diriger la concavité de sa courbure vers le bas, ou vers le côté *i* du renflement moteur, ainsi que je l'ai exposé plus haut. Ainsi, ce faisceau central de tissu fibreux tend à se courber dans le même sens que le côté supérieur de la couche cylindrique *f* du même tissu, c'est-à-dire qu'il tend de même à abaisser la foliole ou à la mettre dans sa position de sommeil. La réunion de l'action de ces deux masses de tissu fibreux, doit nécessairement être victorieuse de l'incurvation antagoniste du côté inférieur de la couche cylindrique de ce même tissu fibreux, et l'entraîner de force dans le sens de la courbure vers le bas qui leur est propre. C'est ainsi que la totalité de la masse du tissu fibreux incurvable par oxygénation, produira l'abaissement ou le sommeil de la foliole par la réunion de ses incurvations congénères, lesquelles deviennent victorieuses de celles de ses incurvations qui s'y opposent.

Les folioles de la feuille du *robinia pseudo-acacia* offrent, comme celles de la feuille du haricot, leur réveil en se relevant et leur sommeil en s'abaissant. La structure intérieure des renflements moteurs des folioles chez ces deux végétaux est la même; elle sera représentée assez exactement par les mêmes figures 1 et 2, pl. 16. Cependant, chez le renflement moteur de la foliole du *robinia*, il y a cette différence que chez lui la couche du tissu fibreux *f* offre toujours une interruption complète au point *g*; en outre la couche cylindrique du tissu cellulaire *c*, est toujours plus épaisse à son côté inférieur *i*, qu'à son côté supérieur *s*, tandis que chez le renflement moteur de la foliole du haricot, ces deux côtés sont ordinairement égaux en épaisseur. D'après cette supériorité légère de masse, le côté inférieur *i* de la couche de tissu cellulaire qui tend à diriger la concavité de sa courbure vers le dehors, qui est ici le bas et qui, sous ce point de vue, est antagoniste du côté supérieur *s* qui tend de même à se courber vers le dehors qui est ici le haut, ce côté inférieur, dis-je, par la supériorité d'action, qu'il aurait par la supériorité de sa masse, devrait opérer l'abaissement de la foliole ou son sommeil; or, c'est le contraire qui a lieu puisqu'il est démontré que le tissu cellulaire *c*, par la généralité de son action, est l'agent du redressement de la foliole ou de son réveil. C'est ici que l'on voit clairement l'influence qu'exerce la lumière sur la force de l'incurvation du tissu cellulaire; sous cette influence, la séve lymphatique afflue spécialement dans le côté supérieur *s* du renflement moteur, côté qui est frappé directement par la lumière; le tissu cellulaire *c* devient alors, dans cet endroit, plus turgescent par endosmose que ne l'est la partie de ce même tissu cellulaire, qui est située au côté inférieur *i*; il résulte de là que le côté supérieur *s* du cylindre creux cellulaire, dirigeant la concavité de sa courbure vers le ciel avec une force prédominante, mal-

gré l'infériorité légère de sa masse, redresse d'autant plus la foliole qu'il y a plus d'intensité de lumière; le côté inférieur *i*, du cylindre creux cellulaire qui tend à diriger la concavité de sa courbure vers la terre, est alors vaincu malgré la supériorité de sa masse et il subit de force une courbure dans un sens opposé à celui de sa tendance naturelle à l'incurvation. Voilà ce qui a lieu lorsque la feuille est placée dans l'air; les choses se passent différemment lorsqu'elle est plongée dans l'eau : alors toutes les parties du tissu cellulaire des renflements moteurs de ses folioles sont également pénétrées par l'eau ambiante; l'endosmose implétive et la turgescence qui en est la suite, sont égales partout; il n'y a donc plus que la supériorité de masse pour déterminer ici une supériorité de force d'incurvation dans un des côtés du cylindre creux cellulaire. Or, dans le renflement moteur de la foliole du *robinia pseudo-acacia*, le côté inférieur de ce cylindre creux cellulaire est un peu plus épais que le côté supérieur; cette supériorité de masse lui donne donc une supériorité de force d'incurvation, lorsque la turgescence cellulaire est égale partout, ainsi que cela a lieu lors de l'immersion de la feuille dans l'eau; c'est effectivement ce que l'expérience démontre. J'ai dit plus haut que cette feuille, plongée dans l'eau, offre un sommeil aussi profond que dans l'air; ses folioles ont leur pointe dirigée vers la terre; or, dans le maximum de leur réveil dans l'eau, non-seulement elles ne se relèvent pas vers le ciel, comme cela a lieu dans l'air, mais elles n'atteignent pas même la position horizontale qui, dans l'air, est leur *réveil moyen*. Le maximum de leur réveil, dans l'eau, est la position intermédiaire au sommeil profond et au réveil horizontal, en sorte que le réveil de ces folioles dans l'eau n'est, pour ainsi dire, que le *quasi-réveil* de ces mêmes folioles dans l'air. Dans ce maximum du réveil dans l'eau, les folioles sont inclinées obliquement vers la terre, ce qui indique que le cylindre creux de tissu cellulaire incurvable par endosmose possède plus de force d'incurvation dans son côté inférieur que dans son côté supérieur, qui se trouve alors vaincu. Cette supériorité de force d'incurvation du côté inférieur est ici le résultat direct et nécessaire de la supériorité de sa masse, puisque les conditions de turgescence par afflux de l'eau sont égales partout. Il est donc établi par l'observation que la supériorité de force d'incurvation de l'un des côtés du cylindre creux cellulaire, agent du réveil des feuilles, dépend tantôt de l'afflux plus grand de la séve lymphatique dans le côté vainqueur par l'influence de la lumière, tantôt de la supériorité de masse de ce même côté vainqueur. Ces considérations vont servir à expliquer le mécanisme du réveil dans les renflements moteurs des pétioles de la sensitive et de l'*hedysarum strobiliferum*. Chez la première de ces plantes, le réveil du pétiole a lieu par élévation, chez la seconde il a lieu par abaissement. J'ai exposé plus haut la structure intérieure du renflement moteur du pétiole de la sensitive (fig. 3 et 4, pl. 16). On a pu voir que, dans la couche cylindrique de tissu cellulaire *c*, les cellules décroissent généralement de grandeur du dehors vers le dedans; il n'y a que les cellules les plus superficielles, formant une couche extrêmement mince, qui décroissent de grandeur du dedans vers le dehors. C'est, comme on le voit, l'inverse de ce qui a lieu dans le renflement moteur des folioles du haricot, chez lequel la couche de cellules décroissantes de grandeur en dedans vers le dehors est celle qui est prédominante. Ainsi le sens de l'incurvation du tissu cellulaire, dans le renflement moteur du pétiole de la sensitive, est inverse de celui qui est propre à ce même tissu cellulaire dans le renflement moteur des folioles du haricot. Chez ce dernier, le tissu cellulaire se courbe en dirigeant sa concavité vers le dehors; chez la sensitive il se courbe en dirigeant sa concavité vers le dedans ou vers le centre du renflement moteur. Il résulte de là que le réveil qui, chez le pétiole de la sensitive, a lieu par élévation comme chez la foliole du haricot, ne doit point être opéré par le même côté du cylindre creux cellulaire, qui est l'unique agent du réveil.

Chez le haricot, c'est le côté supérieur *s* (fig. 1) qui, par son incurvation vers le dehors, *physiologiquement prédominante*, relève la foliole et lui donne la position de réveil; chez la sensitive, c'est le côté inférieur *i* (fig. 3) qui, par son incurvation vers le dedans, *matériellement prédominante*, relève le pétiole et lui donne ainsi la position de réveil. On voit en effet, que la couche cylindrique du tissu cellulaire est, chez la sensitive, plus épaisse à son côté inférieur *i* qu'à son côté supérieur *s*. J'ai vu que le rapport de l'épaisseur relative de ces deux côtés est à peu près celui de 5 à 3; ainsi la force d'incurvation en dedans du côté inférieur *i* du cylindre creux cellulaire, en surmontant la force d'incurvation également en dedans, et par conséquent antagoniste du côté supérieur *s*, agit comme s'il existait seul; il redresse le pétiole ou lui donne la position de réveil. L'abaissement du pétiole ou sa position de sommeil est le résultat de l'action du côté supérieur de l'ellipsoïde creux fibreux *f*, aidé dans cette action par l'incurvation congénère du faisceau central de tissu fibreux *a*, de la même manière que je l'ai exposé plus haut pour le haricot. Le côté inférieur de l'ellipsoïde creux, que représente ici le tissu fibreux *f*, est alors vaincu et courbé de force dans un sens contraire à celui de son incurvation naturelle. D'après cette théorie, il est évident que, si le faisceau central de tissu fibreux *a* n'existait pas pour aider le côté supérieur du tissu fibreux à vaincre le côté inférieur, ce dernier étant ordinairement plus épais que le côté supérieur, et par conséquent plus fort, il deviendrait vainqueur et il produirait le sommeil en élevant le pétiole; c'est effectivement ce qui a lieu dans le renflement moteur du pétiole chez l'*hedysarum strobilifolium* L., renflement dont la fig. 5, pl. 16, représente la coupe transversale. Le tissu cellulaire *c* tend à se courber en dirigeant sa concavité vers le dehors, lorsqu'il est rendu turgescent par l'endosmose; *f*, couche cylindrique et mince de tissu fibreux incurvable par oxygénation, et tendant à se courber vers le centre du renflement moteur; *d*, tissu ligneux central rayonné mêlé d'une grande quantité de gros tubes pneumatiques. Le tissu cellulaire *c* est deux fois plus épais en bas qu'en haut; c'est donc son côté inférieur qui doit l'emporter en force d'incurvation; et comme il tend à diriger la concavité de sa courbure vers le dehors, il doit abaisser le pétiole dans le réveil, dont le tissu cellulaire *c* est l'agent; c'est aussi ce qui a lieu (fig. 7, *b*). Dans le sommeil, le pétiole se relève (fig. 7, *a*), et cette action de redressement est opérée par le cylindre creux de tissu fibreux *f* (fig. 5) dont le côté supérieur est vaincu par l'incurvation plus forte du côté inférieur. Le redressement du pétiole dans le sommeil, coïncidant ici avec l'absence du faisceau central de tissu fibreux incurvable qui existe chez toutes les feuilles dont le sommeil est dans l'abaissement, cela confirme ce que j'ai établi plus haut touchant le sens de l'incurvation de ce faisceau central de tissu fibreux *a* (fig. 1 et 3), lequel tend à abaisser le pétiole, secondant ainsi l'action du côté supérieur de la couche cylindrique de tissu fibreux, en sorte que le sommeil a toujours lieu dans le sens de l'abaissement, lorsque ce faisceau central de tissu fibreux incurvable existe; c'est ce qui a lieu dans les renflements moteurs des folioles de haricot et de *robinia pseudo-acacia* et du pétiole de la feuille de sensitive. Chez cette dernière plante, les folioles s'élèvent dans le sommeil comme le pétiole de l'*hedysarum strobiliferum*; leurs renflements moteurs ont très-probablement la même organisation.

D'après ce qui vient d'être exposé, on voit que le réveil et le sommeil des feuilles ont lieu, chacun à part, tantôt dans la position redressée, tantôt dans la position abaissée, et l'on a vu par quel mécanisme cela s'opère. Or, il est un autre mouvement que les feuilles présentent dans leur réveil ou dans leur sommeil, c'est celui de la torsion de leur renflement moteur, torsion qui, du reste, n'existe jamais seule, mais est toujours accompagnée de l'incurvation. Ainsi, par exemple, les folioles de la feuille de la réglisse (*glycyrrhiza glabra*) en s'abaissant pour le som-

meil, se tordent en même temps sur leur pétiole, constitué en entier par le renflement moteur, et cela de manière à diriger leurs faces supérieures vers l'extrémité de la feuille. Si ce double mouvement d'incurvation et de torsion du renflement moteur était plus étendu, il amènerait les deux folioles opposées à diriger leur pointe vers la terre et à se joindre, dans cette position, par leurs faces supérieures, ainsi que cela a lieu chez les feuilles des casses, dans leur position de sommeil. Chez la réglisse, la structure intérieure du renflement moteur des folioles ne paraît pas différer sensiblement de celle que présente le renflement moteur des folioles du haricot (fig. 1 et 2, pl. 16), et surtout celui des folioles du *robinia pseudo-acacia*. Ainsi, je ne puis expliquer que rationnellement le mouvement de torsion qui lui est particulier, et qui a lieu d'une manière bien plus étendue chez les casses. Ce mouvement de torsion peut trouver l'explication de son mécanisme dans la considération de l'inégal raccourcissement longitudinal des deux tissus incurvables dont se compose leur renflement moteur. En effet, le tissu cellulaire *c* (figure 2, planche 16) possédant pendant le jour une étendue en longueur égale à celle du tissu fibreux *f*, deviendra légèrement inférieure en longueur à ce dernier pendant la nuit; car pendant le jour le tissu cellulaire *c* est turgescent, et cessant de l'être autant pendant la nuit, ses séries de cellules alignées et contiguës qui sont moins remplies, occupent moins de longueur. Or, il doit résulter nécessairement de l'inégalité de longueur qui se sera établie le soir entre les deux couches cylindriques cellulaire et fibreuse, que celle qui sera demeurée la plus longue, c'est-à-dire la couche cylindrique fibreuse, disposera ses fibres longitudinales en spirale, c'est-à-dire se tordra sur elle-même et entraînera ainsi tout le renflement moteur dans ce mouvement de torsion. C'est là le mécanisme général que j'ai assigné aux mouvements de torsion dans un autre Mémoire [1]. Le sens de cette torsion dépendra de certaines particularités d'organisation du renflement moteur qui l'exécute. D'après cette explication, il semblerait que chez les renflements moteurs des feuilles, la torsion devrait toujours accompagner l'incurvation de sommeil; or, au contraire, cette torsion dans le sommeil est assez rare. Son absence si fréquente provient, je pense, de ce que les renflements moteurs des feuilles possèdent presque toujours au-dessous de leur couche fibreuse incurvable un tissu ligneux qui a une certaine rigidité, en sorte que s'il se prête à subir une flexion, il résiste à subir une torsion, ce dernier mouvement étant beaucoup plus difficile à imprimer. Les renflements moteurs des folioles de la réglisse et des casses auraient cela de particulier, que leur tissu ligneux serait peu rigide et se prêterait ainsi avec facilité au mouvement de torsion.

En général, chez les feuilles, le réveil est la conséquence de l'augmentation de la lumière et par conséquent de l'augmentation de la respiration végétale, puisque celle-ci s'opère par l'assimilation de l'oxygène produit dans le tissu végétal sous l'influence de la lumière et versé dans les organes pneumatiques de la plante. J'ai fait voir dans un autre mémoire [2] que l'ascension de la séve par attraction, cesse d'avoir lieu lorsque la respiration de la plante est supprimée, et j'en ai conclu que c'est sous l'influence des phénomènes chimiques qui se passent dans l'assimilation de l'oxygène, que se développe la force qui attire la séve. On conçoit, d'après cela, pourquoi chez les feuilles, le réveil a toujours lieu pendant le jour; car c'est alors seulement qu'elles fabriquent l'oxygène qui sert à leur respiration; c'est alors par conséquent qu'elles attirent la séve avec le plus d'abondance, ce qui est la condition la plus favorable pour la turgescence et pour l'incurvation du tissu cellulaire qui est l'agent du ré-

[1] Voyez dans le Mémoire IX, page 233.

[2] Voyez dans le Mémoire VIII, page 210.

veil. Lorsque le soir arrive, la diminution de la lumière, en occasionnant la diminution de la respiration dans les feuilles, y produit par cela même la diminution de l'afflux de la séve attirée, et alors le tissu cellulaire agent du réveil perd une partie de sa turgescence et par conséquent perd une partie de sa force d'incurvation. Or, pendant la durée du jour, sous l'influence d'une respiration active, le tissu fibreux agent du sommeil a augmenté peu à peu son oxygénation, laquelle se trouvant ainsi très-considérable le soir, détermine l'incurvation de ce tissu fibreux, lequel l'emporte alors facilement sur l'incurvation affaiblie du tissu cellulaire agent du réveil. Alors les feuilles prennent l'état de sommeil. Cependant, dans le courant de la nuit et dans l'absence de la respiration active qu'occasionne la lumière, le tissu fibreux, agent du sommeil, perd une partie de l'oxygène qui avait été fixé dans son tissu pendant le jour; j'ai prouvé ce fait pour les fleurs, il est par conséquent prouvé aussi pour les feuilles. Lorsque le matin arrive, le tissu fibreux, agent du sommeil, se trouve donc affaibli, le tissu cellulaire, agent du réveil, reprend de la turgescence et par suite de la force d'incurvation sous l'influence de la lumière, et le réveil des feuilles a lieu. Ainsi s'établit et se continue, pendant toute la durée de la vie des feuilles, cette oscillation diurnale qui résulte de l'action alternativement prédominante d'un tissu cellulaire incurvable par turgescence d'eau ou par endosmose implétive, et d'un tissu fibreux incurvable par oxygénation. Ici doit se trouver naturellement l'exposé de ces expériences si intéressantes, faites par M. de Candolle, sur les effets que la lumière artificielle continue produit sur les feuilles susceptibles de sommeil. Ce célèbre botaniste a vu qu'en soumettant une sensitive à la lumière continue des lampes, la succession du réveil et du sommeil des feuilles continuait d'avoir lieu, et, ce qui est un fait bien important, que la durée de l'intervalle de temps qui séparait ces alternatives de réveil et de sommeil diminuait dans la proportion d'environ deux heures par jour. Cela permet de penser que si la sensitive, au lieu d'être soumise à la lumière artificielle continue, eût pu se trouver soumise à la lumière continue et bien plus énergique du soleil, elle eût raccourci encore davantage la période de ses oscillations, lesquelles eussent été perpétuelles, malgré l'absence des alternatives de lumière et d'obscurité. M. de Candolle considère la continuation des mouvements de réveil et de sommeil sous l'influence d'une lumière continue, comme un effet de l'*habitude* précédemment acquise. Ce mot *habitude*, auquel ne se trouve attachée aucune idée exacte, n'est véritablement qu'un voile mis à l'ignorance où nous sommes des causes auxquelles sont dus certains phénomènes vitaux qui se produisent quelquefois périodiquement. Ce curieux phénomène de la continuation des alternatives du réveil et du sommeil chez la sensitive, soumise à une lumière continue, me paraît devoir être envisagé d'une autre manière : je l'exposerai dans le XIe Mémoire. M. de Candolle a également recherché quels seraient les effets d'une obscurité continue sur le réveil et le sommeil des feuilles de la sensitive, mais il convient que dans cette expérience il n'a observé que des phénomènes sans régularité. J'ai répété plusieurs fois cette même expérience, et voici ce que j'ai vu. Une sensitive placée dans des conditions favorables de température, étant mise dans une obscurité complète au moyen d'un récipient opaque qui la couvre, ses feuilles prennent d'abord la position de sommeil qu'elles conservent jusqu'au lendemain si l'expérience a été commencée dans la soirée, mais qu'elles ne conservent que jusque vers la fin du jour si l'expérience a été commencée le matin. Dans l'un et dans l'autre cas, les feuilles se déploient complétement malgré l'absence de la lumière, et elles prennent la position du réveil le plus complet. Environ dix ou douze heures après, les folioles des feuilles très-jeunes se ploient tout à fait, mais leur pétiole demeure redressé ; les feuilles les plus vieilles continuent à présenter le réveil

le plus complet. Quant aux feuilles d'un âge intermédiaire, leurs folioles prennent un état de demi-plicature en conservant aussi leur pétiole dans un état de redressement qui excède celui du réveil normal. Cet état mixte de réveil et de sommeil des feuilles, état dans lequel le réveil est de beaucoup prédominant, persiste invariablement dans l'obscurité continue. Or, comme cette même position est prise par les feuilles de la sensitive dans le vide de la pompe pneumatique, cela prouve que c'est une *position d'asphyxie*. Les feuilles placées dans une obscurité continue ne fabriquent plus d'oxygène pour en remplir leurs organes pneumatiques ou respiratoires ; placées dans le vide, l'air respirable qui remplit ces organes leur est enlevé, en sorte que dans ces deux cas l'asphyxie de la plante est également produite, et les feuilles prennent exactement la même position qui est à peu près celle du réveil. J'ai fait voir, en effet, plus haut que, privées d'oxygène respiratoire, les fleurs et les feuilles prennent et conservent invariablement la position de réveil, et cela, par le fait de la paralysie du tissu fibeux incurvable par oxygénation et agent du sommeil. Ainsi, chez la sensitive, placée dans une obscurité continue, il n'y a qu'un seul réveil des feuilles premièrement placées dans la position de sommeil, et ce réveil d'abord normal se change ensuite en un *réveil modifié* qui constitue la position de l'*asphyxie*. Ces phénomènes, d'autant plus prompts dans leur succession que la température est plus élevée, s'expliquent parfaitement par la théorie que j'ai exposée plus haut. Les feuilles de sensitive qui, mises à l'obscurité, ont pris la position de sommeil, la conservent jusqu'à ce que le tissu fibreux, agent du sommeil, ait perdu, dans l'absence de la lumière et de la respiration normale, une partie de son oxydation qui est la seule cause de son incurvation ; ce tissu fibreux étant ainsi affaibli, le tissu cellulaire, son antagoniste et agent du réveil, reprend l'empire et place la feuille dans la position de réveil ; or, comme la feuille privée de lumière ne produit plus d'oxygène respiratoire, le tissu fibreux incurvable par oxygénation, ne pouvant plus récupérer son moyen d'incurvation, qui est l'oxygène, se trouve aussi paralysé, et comme il est l'agent du sommeil, celui-ci ne se manifeste plus ; la feuille reste dans un état qui est à peu près celui du réveil.

Les expériences qui viennent d'être exposées prouvent que, lors de la suppression complète de l'oxygène respiratoire dans les organes pneumatiques des feuilles, l'incurvation du tissu cellulaire agent du réveil existe seule, et que l'incurvation du tissu fibreux, agent du sommeil, est supprimée ; cela semblerait prouver que l'existence de la respiration végétale, nécessaire évidemment pour l'action du tissu fibreux incurvable par oxygénation, serait inutile pour l'action du tissu cellulaire incurvable par turgescence d'eau ou par endosmose ; or, cela est si loin d'être vrai, que c'est le contraire qui a lieu ; dans l'état naturel, l'existence de la respiration végétale normale est plus nécessaire pour l'action du tissu cellulaire agent du réveil, que pour l'action du tissu fibreux agent du sommeil. Cette assertion, qui paraît paradoxale au premier coup d'œil, est prouvée par les expériences suivantes.

Je pris trois feuilles de haricot que je nommerai A,B,C. La feuille A fut submergée et mise pendant un quart d'heure dans le vide : en lui rendant l'air, les cavités pneumatiques furent entièrement remplies d'eau. La feuille B resta aussi pendant un quart d'heure dans le vide, mais sans submersion. La feuille C demeura dans l'état naturel. Je mis ces trois feuilles tremper par leur pétiole dans des vases remplis d'eau, que je plaçai dans un lieu bien éclairé par la seule lumière diffuse. Lorsque le soir arriva, la feuille A présenta la première le phénomène de l'abaissement de ses folioles ou du sommeil ; la feuille B présenta plus tard ce phénomène, lequel arriva encore plus tard chez la feuille C. Le lendemain, la feuille C présenta la première le phénomène du redressement de ses folioles ou

du réveil. La feuille B se réveilla plus tard, et enfin la feuille A se réveilla la dernière; mais le réveil de ces deux dernières feuilles fut incomplet; leurs folioles restèrent pendant toute la journée dans un état de demi-sommeil, et elles ne firent aucun mouvement de nutation pour se diriger vers la lumière. La feuille C, au contraire, non-seulement redressa complétement ses folioles, ce qui constitue l'acte de leur réveil, mais elle inclina leur face supérieure vers la fenêtre de laquelle venait la lumière, ce qui constitue l'acte de leur nutation. Le soir de ce second jour, la feuille A commença encore la première à présenter le phénomène du sommeil; elle fut suivie par la feuille B et enfin par la feuille C. Celle-ci cessa en même temps de tenir la face supérieure de ses folioles inclinée vers la fenêtre; la position de nutation cessa d'avoir lieu pendant la nuit, et les folioles reprirent leur position naturelle. Le troisième jour, la feuille A ne présenta point le phénomène du réveil; elle commença à se faner. La feuille B se réveilla un peu, mais elle était languissante. La feuille C, parfaitement vivante, exécutait ses fonctions comme à l'ordinaire. Le quatrième jour la feuille A était morte; la feuille B commença à se faner et fut morte le lendemain. La feuille C continua longtemps à vivre.

On voit par ces expériences que la feuille A, dont les organes pneumatiques avaient été vidés d'air, et remplis d'eau en grande partie, fut plus hâtive pour le sommeil, et plus tardive pour le réveil que ne le fut la feuille B, dont les organes pneumatiques vides d'air étaient cependant restés en partie accessibles à son retour; je dis *en partie*, car il est certain que, lors de la soustraction par la pompe pneumatique de l'air contenu dans les canaux pneumatiques d'une plante, ces canaux doivent être envahis en partie par les liquides séveux. Les deux feuilles A et B ne présentèrent point de nutation comme la feuille C qui avait conservé ses organes pneumatiques dans leur état naturel; cette feuille C fut en outre plus tardive pour le sommeil, et plus hâtive pour le réveil que ne le furent les deux feuilles A et B. Ainsi le réveil des feuilles est plus altéré que leur sommeil par la diminution de la respiration végétale, alors leur réveil est plus court et leur sommeil plus long que dans l'état naturel. Ces faits s'expliquent facilement par les considérations suivantes.

Le tissu cellulaire incurvable par endosmose, et agent du réveil, ne peut évidemment devenir turgescent et par suite se courber que lorsque la séve lymphatique lui est apportée en quantité suffisante. Or, j'ai démontré que l'ascension de la séve lymphatique *par attraction* cesse d'avoir lieu lorsqu'il n'y a plus d'oxygène respiratoire dans les organes pneumatiques des plantes, et que cette ascension est proportionnelle en général à la quantité de la respiration végétale; or, les trois feuilles de haricot, sujets des dernières expériences, avaient évidemment des quantités différentes de respiration. La feuille A était celle qui respirait le moins; la feuille B respirait un peu plus, mais toujours d'une manière insuffisante. Chez ces deux feuilles l'ascension de la séve lymphatique par attraction était donc faible, et comme elle devait compenser la perte faite par la transpiration des feuilles, il n'arrivait dans leur tissu assez de séve lymphatique pour produire la turgescence du tissu cellulaire, agent du réveil, que lorsque la lumière devenue intense augmentait à la fois la respiration végétale et l'ascension de la séve lymphatique, en sorte que le réveil arrivait tard. Le soir dès que la lumière commençait à diminuer, la respiration et l'ascension de la séve lymphatique diminuaient en même temps, et d'une manière considérable en raison de leur faiblesse antécédente, en sorte que le tissu cellulaire agent du réveil, n'ayant plus assez d'eau pour conserver la turgescence par endosmose qui est la cause de son incurvation, cessait alors d'être plus fort que le tissu fibreux dont l'incurvation antagoniste, devenue victorieuse, produisait ainsi le sommeil qui arrivait de bonne heure et plus tôt que dans l'état naturel. Ainsi, d'après ces ob-

servations, il faut plus de respiration végétale, il faut plus d'oxygène dans les organes pneumatiques des feuilles pour déterminer une ascension de séve lymphatique suffisante pour produire la turgescence et l'incurvation du tissu cellulaire agent du réveil, que pour produire l'incurvation par oxygénation du tissu fibreux agent du sommeil, en sorte que, lors de la diminution de la respiration végétale, le tissu cellulaire agent du réveil est plus altéré dans l'exercice de sa fonction d'incurvation que ne l'est le tissu fibreux agent du sommeil. Cela n'a lieu cependant que lorsque les feuilles sont placées à l'air libre et à la lumière, c'est-à-dire lorsqu'elles sont dans la position qui favorise le plus leur transpiration. En effet, j'ai fait voir que lorsque les feuilles sont placées à l'obscurité, laquelle diminue la transpiration végétale, ou bien lorsqu'elles sont plongées dans l'eau non aérée où cette transpiration est nulle et où il y a au contraire absorption immédiate de séve lymphatique; ou bien enfin, lorsqu'elles sont placées dans le vide de la pompe pneumatique, où la perte d'eau par l'évaporation est également à peu près nulle, l'abolition de la respiration qui a lieu dans ces trois circonstances, diminue à peine ou ne diminue point du tout l'action du tissu cellulaire agent du réveil, tandis qu'elle abolit l'action du tissu fibreux agent du sommeil. Cela provient de ce que dans ces trois circonstances il y a dans les feuilles assez de séve lymphatique pour produire la turgescence et l'incurvation du tissu cellulaire agent du réveil; il n'est donc pas nécessaire que la respiration végétale existe pour déterminer l'ascension de cette séve lymphatique, comme cela a lieu lorsqu'il s'agit de remplacer celle que l'évaporation soustrait, ce qui abolit la turgescence cellulaire.

Il résulte de ces considérations et des expériences qui y ont donné lieu, que le maximum de l'action vitale chez les feuilles a lieu pendant le jour ou dans leur réveil, et que leur sommeil qui a toujours lieu pendant la nuit coïncide avec une diminution de cette même action vitale qui est en proportion, chez tous les êtres vivants avec la quantité de la respiration. Ces considérations tendent à établir une véritable similitude entre le sommeil des végétaux et celui des animaux, similitude que l'on était loin de soupçonner, car généralement on considère comme *métaphoriques* les expressions de *sommeil* et de *réveil* appliquées aux végétaux. Il est bien entendu que, dans ce rapprochement, je ne prétends point comprendre les phénomènes du *sommeil sensorial* propre aux seuls animaux; je ne considère ici le sommeil chez les végétaux que dans ses phénomènes purement organiques, lesquels attestent tous une diminution de l'action vitale, diminution qui est le seul point de rapprochement que je prétende établir entre le sommeil des animaux et celui des végétaux. C'est par le fait de cette diminution de l'action vitale que, chez les parties des végétaux qui sont susceptibles de sommeil et de réveil, la mort est toujours précédée par le sommeil ainsi que cela a lieu chez les animaux. C'est dans la position de sommeil que les fleurs et les feuilles meurent ordinairement, en sorte que chez les végétaux, comme chez les animaux, le sommeil est l'image de la mort.

XI.

DE L'EXCITABILITÉ VÉGÉTALE

ET

DES MOUVEMENTS DONT ELLE EST LA SOURCE.

§ I. — *Mécanisme du mouvement chez la sensitive.*

On sait que certains végétaux jouissent de la faculté de mouvoir quelques-unes de leurs parties lorsqu'ils subissent l'influence des excitants mécaniques, tels que les chocs ou les piqûres, ou lorsqu'ils subissent l'influence des excitants chimiques, tels que le contact d'une liqueur acide, etc.; souvent un attouchement fort léger suffit pour déterminer ces mouvements. Tout le monde connait les phénomènes que présentent, à cet égard, les feuilles du *dionea muscipula*, les étamines du *berberis vulgaris* et du *cactus opuntia*, etc. La plante qui présente au plus haut degré cette faculté de mouvement est la sensitive (*mimosa pudica* L.). On sait que les feuilles de cette plante se meuvent spontanément au moindre attouchement, à la plus légère secousse, ou bien lorsqu'on fait éprouver à une seule de leurs folioles une chaleur inaccoutumée, ou bien encore lorsqu'on dépose sur elles, sans secousse, une goutte d'acide, etc.; en un mot, la feuille se comporte comme le ferait, en pareil cas, un animal qui serait averti par ses sensations de l'action actuelle d'une cause excitante sur ses organes. Il n'est point nécessaire que l'action de la cause excitante soit dirigée sur la feuille elle-même pour qu'elle se meuve; une action dirigée sur une partie souvent très-éloignée peut déterminer ce mouvement de la feuille. Ainsi, en même temps qu'il y a chez la sensitive une *faculté de mouvement qu'on peut appeler de locomotion*, il y a une *faculté d'excitabilité*, ou une faculté de recevoir et de transmettre au loin l'*excitation*, en vertu de laquelle le mouvement locomotif a lieu. Ainsi, il y a deux phénomènes à étudier dans les mouvements qui ont lieu par excitation : 1° le mécanisme de ces mouvements; 2° les phénomènes que présente l'excitabilité en vertu de laquelle ces mouvements ont lieu. Je me bornerai, pour ces objets d'étude, à la sensitive [1].

Lorsqu'on fait éprouver une excitation

[1] Mes premières expériences sur les mouvements des feuilles de la sensitive remontent à 1824, et furent publiées dans mon ouvrage intitulé : *Recherches sur la structure intime des animaux et des végétaux, et sur leur mobilité.* Je ne vis alors qu'une partie du mécanisme de ces mouvements, sans péné-

aux feuilles de la sensitive, elles se ploient avec rapidité. Cette plicature s'opère de la manière suivante : les folioles se ploient par paires en se joignant par leurs faces supérieures. Par ce mouvement, elles se rapprochent de leur axe commun, qui est la pinnule ; les pinnules se ploient en se rapprochant également de la direction de leur axe commun, qui est le pétiole, vers le sommet duquel elles sont implantées par paires ; le pétiole se ploie en s'éloignant de la tige sur laquelle il est implanté. Ce mouvement d'éloignement du pétiole est si étendu, que ce dernier s'incline vers la terre en se rapprochant de la partie de la tige qui est située au-dessous de son insertion ; ainsi le mouvement du pétiole s'opère en sens inverse de celui des pinnules et des folioles. Ces deux dernières se rapprochent de la partie supérieure de l'axe duquel elles émanent ; le pétiole, au contraire, s'éloigne de la partie de la tige qui lui est supérieure, et se rapproche de la partie de cette même tige qui lui est inférieure. Cet état d'abaissement du pétiole et de plicature des folioles, que l'on voit ici produit par une cause excitante, est également l'état que présente la feuille dans son sommeil. Lorsque la feuille a pris cet état en plein jour, par l'effet d'une cause excitante, elle reprend, quelques minutes après, l'état de redressement de son pétiole et de déploiement de ses folioles ; elle a éprouvé, pour ainsi dire, un *sommeil momentané ;* l'absence de la lumière, pendant la nuit, produit ce même *sommeil* d'une manière prolongée ; il ne cesse qu'au retour de la lumière du jour. Alors la feuille prend l'état de réveil en redressant son pétiole, en éloignant les unes des autres ses pinnules et en déployant ses folioles. Ainsi les mouvements qui résultent de l'excitation, et ceux qui résultent de l'arrivée du sommeil, sont exactement les mêmes ; les mouvements qui suivent la cessation de l'excitation, et ceux qui amènent l'état de réveil, sont également semblables ; il n'y a donc qu'un seul et même mécanisme de mouvement pour ces deux ordres de phénomènes. Je renvoie, par conséquent, à ce que j'ai exposé, à cet égard, dans mon Mémoire sur le réveil et le sommeil des plantes ; on y trouvera le détail anatomique de la structure intérieure du renflement moteur du pétiole de la sensitive, et la détermination du mécanisme au moyen duquel le pétiole s'abaisse dans le sommeil et se relève dans le réveil. J'ai fait voir que l'abaissement du pétiole reconnaît pour agent un tissu fibreux qui se courbe lorsqu'il a acquis de l'oxygénation, et que l'élévation de ce même pétiole a pour agent un tissu cellulaire qui se courbe par implétion de liquide avec excès ou par endosmose. Ainsi, lors de l'abaissement du pétiole de la sensitive sous l'influence des excitants, c'est le tissu fibreux incurvable par oxygénation contenu dans le renflement moteur pétiolaire qui agit. Il en résulte que, par le fait de l'excitation, ce tissu fibreux incurvable reçoit instantanément un surcroît d'oxygénation qui détermine son incurvation. On ignore comment cela s'opère ; je me bornerai donc ici à faire observer que ce phénomène se rattache aux observations par lesquelles j'ai prouvé ailleurs [1] que les excitants sont des causes déterminantes de fixation de l'oxygène dans l'organisme vivant [2]. Le surcroît d'oxygénation qu'a reçu instantanément le tissu fibreux, agent

---

trer dans la connaissance de leur cause physique. Ayant depuis découvert le phénomène de l'endosmose, j'en fis, en 1828, l'application au mécanisme intime des mouvements de la sensitive dans ma brochure intitulée : *Nouvelles recherches sur l'endosmose et l'exosmose, suivies de l'application expérimentale de ces actions physiques à la solution du problème de l'irritabilité végétale, etc.* L'explication que je donnai alors de la cause organique et physique des mouvements d'irritabilité était incomplète, puisque je ne connaissais encore qu'une seule des causes physiques de ces mouvements, ma découverte touchant l'existence chez les végétaux du *tissu fibreux incurvable par oxygénation* n'ayant eu lieu que dans l'année 1836.

[1] Voyez mon Mémoire intitulé : *De l'usage physiologique de l'oxygène dans ses rapports avec l'action des excitants.*

[2] Certains phénomènes physico-chimiques bien connus peuvent donner une idée de la manière dont

de l'abaissement du pétiole et de la plicature des folioles, cesse bientôt d'exister dans le tissu fibreux, et cela par l'action de la cause vitale inconnue dans sa nature, qui opère la désoxydation du tissu organique précédemment oxydé. Alors le tissu cellulaire incurvable par endosmose et agent du redressement du pétiole et du déploiement des folioles reprend l'empire. Ce dernier mouvement, auquel est dû le redressement et le déploiement de la feuille, ne s'exécute point sous l'influence des causes excitantes : il est simplement le résultat de l'afflux de la séve lymphatique dans le tissu cellulaire incurvable par endosmose, tissu qui est l'agent de ce mouvement. Ainsi, les causes excitantes influent exclusivement sur le mouvement d'abaissement et de ploiement de la feuille, mouvement qui est également celui qui produit l'état de sommeil, et qui est dû à l'action du tissu fibreux incurvable par oxygénation ; c'est donc ce tissu fibreux qui seul reçoit l'influence de l'excitation. Ainsi, ce qu'on nomme l'*irritabilité végétale*, se trouve être la propriété d'un tissu fibreux qui agit en se courbant par le fait de son oxygénation. Ce mot *irritabilité*, qui n'a aucune signification exacte, doit donc être remplacé ici par le mot *incurvabilité*, en ajoutant que cette *faculté d'incurvation* est associée, dans le cas dont il s'agit, à l'*excitabilité* ou à la faculté de recevoir l'influence des causes excitantes, lesquelles déterminent l'oxygénation et par suite l'incurvation du tissu fibreux incurvable.

Je ne m'étendrai pas davantage sur le mécanisme des mouvements opérés par les deux tissus incurvables que contiennent les renflements moteurs des feuilles de la sensitive. Ce que je viens d'exposer à cet égard, joint à ce que j'ai dit avec plus de détail dans mon Mémoire *sur le réveil et le sommeil des plantes*, suffit pour donner une idée exacte du mécanisme de ces mouvements. Autrefois, j'avais procédé à cette recherche par le moyen de l'ablation de certaines parties du renflement moteur du pétiole de la feuille, mais j'ai reconnu combien était infidèle cette méthode de recherche par ablation de l'un des côtés du renflement moteur. Il eût fallu, dans la pratique de cette ablation, faire distinction des deux tissus incurvables qui sont superposés, ce que je n'ai pu faire dans mes anciennes expériences, puisque le tissu fibreux incurvable m'était alors inconnu. Or, j'ai expérimenté depuis qu'en faisant l'ablation du seul tissu cellulaire incurvable qui est superficiel dans le renflement moteur, on altère les fonc-

---

agissent les excitants mécaniques et chimiques pour déterminer l'oxydation du tissu organique vivant. Une observation vulgaire a appris que le vin en futailles s'aigrit plus ou moins promptement dans les caves voisines des rues ou des grandes routes où il reçoit l'ébranlement produit dans le sol par le roulement des voitures. Cet ébranlement moléculaire détermine alors le vin à attirer l'oxygène qui le convertit en acide, ce qui ne fût point arrivé s'il se fût trouvé placé dans un lieu tranquille. Voilà donc un exemple d'*excitation mécanique à l'oxydation* ; un second exemple montrera l'*excitation chimique à l'oxydation*. M. Chevreul, dans son Mémoire *sur l'action simultanée de l'oxygène gazeux et des alcalis sur un grand nombre de substances organiques*, imprimé dans le 12ᵉ volume des Mémoires du Muséum d'histoire naturelle, a fait voir que beaucoup de substances organiques qui n'ont point d'affinité pour l'oxygène, acquièrent sur-le-champ une affinité très-forte pour cette substance lorsqu'on les associe à un alcali qui dans ce cas ne leur est point *combiné*, mais simplement *juxtaposé moléculairement*. Les substances organiques ainsi associées à un alcali se maintiennent sans changement chimique tant qu'elles sont privées du contact de l'oxygène gazeux ; mais lorsque ce contact a lieu, les substances organiques dont il s'agit attirent très-fortement l'oxygène et se combinent avec lui. Ainsi l'alcali, qui n'entre nullement ici en combinaison, n'est évidemment, dans cette circonstance, que la *cause excitante* de la fixation de l'oxygène sur la substance organique. Une action chimique du même genre se manifeste lorsqu'un jet de gaz hydrogène se trouve en contact avec l'éponge de platine dans le sein de l'atmosphère ; aussitôt l'oxygène se fixe sur l'hydrogène, ce qui produit la combustion de ce dernier. L'éponge de platine n'agit ici que par son seul contact comme *cause excitante* de la fixation de l'oxygène sur l'hydrogène. Ces actions chimiques dérivent d'une force dont l'étude est nouvelle dans la science, et que M. Berzelius désigne sous le nom de *force catalytique*. Cette force, qui est probablement de nature électrique, joue indubitablement un grand rôle dans l'organisme vivant.

tions du tissu fibreux incurvable qui se trouve mis à nu, en sorte qu'on ne peut tirer des déductions certaines de cette méthode expérimentale, à laquelle j'ai renoncé.

Les mouvements d'abaissement et de redressement sont les seuls que présente ordinairement le pétiole de la feuille de sensitive par la flexion et le redressement successifs de son renflement moteur; mais on peut faire aussi exécuter à ce dernier des mouvements dans les sens latéraux de droite et de gauche. Ainsi, si l'on ploie une tige de manière à déranger la direction naturelle de ses feuilles vers la lumière, on voit cette direction se rétablir bientôt par la flexion latérale du renflement moteur du pétiole. Ce renflement est donc organisé pour se mouvoir dans tous les sens, mais il possède une action prédominante dans ses deux parties supérieure et inférieure qui sont les plus épaisses en raison de l'aplatissement de haut en bas de sa partie centrale, comme on le voit dans la fig. 3, pl. 16; de là vient que les mouvements principaux et habituels de ce renflement moteur, s'exécutent dans les deux directions opposées de l'abaissement et du redressement du pétiole.

Le mécanisme des mouvements dont l'excitabilité est la source étant déterminé, j'aborde l'étude de cette excitabilité elle-même.

§ II. — *De l'excitabilité végétale.*

Chez les animaux on donne le nom de *sensibilité* à la faculté en vertu de laquelle ils reçoivent l'influence des causes excitantes. Doit-on reconnaître aussi l'existance de la *sensibilité* chez les végétaux ?

Chacun sait que Bichat a admis deux modifications de la sensibilité chez les êtres vivants : la *sensibilité animale* qui n'appartient qu'aux animaux et qui est la source de leurs sensations, et la *sensibilité organique* qui appartient aux animaux et aux végétaux, sensibilité qui n'est point source de sensations.

La seule idée que nous puissions avoir de la *sensibilité* est celle qui nous est donnée par notre propre expérience. Cette idée est inséparable de celle de la conscience de l'existence. L'être qui *sent* possède, par cela même, un *moi*, et c'est la faculté que possède ce *moi* d'être modifié par certaines causes extérieures qui constitue la *sensibilité*, propriété mystique et nécessairement telle, car elle est totalement inaccessible à notre investigation. Notre faculté de sentir est celle à l'aide de laquelle nous connaissons; il nous est par conséquent impossible de la connaître elle-même. La sensibilité est donc en dehors des sciences d'observation; elle ne doit point être étudiée dans la physiologie : son étude appartient à la psychologie. Il existe des bornes pour les investigations de l'esprit humain; ces bornes se trouvent dans la nature de nos rapports avec les objets naturels; elles sont impossibles à franchir. Il est de la véritable philosophie de savoir reconnaître ces bornes et de s'y arrêter; toute tentative de l'imagination pour les dépasser serait extravagante. Laissons donc de côté en physiologie l'étude de la *sensibilité* qui est une faculté nécessairement *mystique*, et située au delà des bornes que je viens d'indiquer; il nous est permis seulement de suivre jusqu'auprès de ces bornes l'enchaînement des phénomènes au moyen desquels cette *faculté mystique* est mise en jeu. Ici l'on sera dans le champ de l'observation et de la véritable science. Tout *mysticisme* disparaîtra, et l'on n'aura plus que des phénomènes appréciables, auxquels on pourra peut-être appliquer des mesures.

Ne devant reconnaître de *sensibilité* que là où il existe des *sensations*, on doit refuser ce nom à la *sensibilité organique* de Bichat. Les recherches de M. Flourens ayant prouvé que les sensations n'existent que dans la partie du cerveau qui est le siége du *moi*, là se trouve exclusivement placée la *sensibilité*; partout ailleurs, existe seulement l'*excitabilité*. Ainsi, les organes des sens ne sont point *sensibles* comme on le dit, ils sont seulement *exci-*

tables. M. Flourens(1) borne le nom d'*excitabilité* à la faculté qu'ont en général les organes nerveux, d'éprouver de la part des causes excitantes la modification particulière en vertu de laquelle la sensibilité d'une part et la contractilité de l'autre, sont consécutivement mises en jeu; j'étends ce nom à la faculté qu'ont les parties vivantes, telles qu'elles soient, d'être directement modifiées par les causes excitantes. Ainsi, je reconnais chez les végétaux l'existence de l'*excitabilité*, mais ils n'ont point de *sensibilité*, car ils n'ont point de *moi*, point de conscience de l'existence. Leur excitabilité mise en jeu se borne à provoquer le mouvement des organes locomoteurs de la plante lorsqu'elle en possède, et qu'ils sont de nature à être mis en action par elle. L'*excitabilité* est ainsi la faculté que possèdent certaines parties vivantes d'être modifiées par l'action de certaines causes extérieures, qui portent en raison de cela le nom d'*excitants*. L'*excitation* est ainsi une *modification*, un *changement*, d'une nature particulière et inconnue; or, la nature de cette *modification*, de ce *changement*, est du ressort de l'observation. La manière dont les *causes excitantes* agissent pour produire ce *changement* sera peut-être possible à déterminer. L'excitabilité est encore ici pour nous une propriété *mystérieuse*, mais elle n'est point, comme la *sensibilité*, une propriété *mystique* et inabordable.

L'excitabilité se montre chez la sensitive parfaitement distincte de la faculté de mouvement qu'elle met en exercice. Ainsi, lorsqu'on brûle légèrement avec un verre ardent les sommités fleuries de cette plante, il ne s'y manifeste aucun phénomène appréciable; mais bientôt après les feuilles inférieures aux fleurs se fléchissent. Il y a donc eu dans les fleurs un phénomène vital consécutif à l'action de la cause excitante, et qui a été antérieur à l'action par laquelle les feuilles ont exécuté leur mouvement. Les fleurs ont ressenti l'influence de l'excitant sans le manifester par des signes extérieurs; les feuilles ont éprouvé consécutivement la même influence et elles l'ont manifesté par leurs mouvements. Il paraîtrait y avoir là une suite de phénomènes analogues à ceux que nous offre le système nerveux des animaux. Une excitation locale est produite, et elle se transmet au loin dans des parties dont elle provoque le mouvement. Chez les animaux, cette transmission qui a lieu par les nerfs, est d'une telle rapidité qu'elle paraît instantanée; chez la sensitive cette transmission s'opère avec lenteur, et les organes par lesquels elle a lieu étaient ignorés avant mes recherches publiées en 1824 (2), et que je vais reproduire.

Lorsqu'on fait subir une excitation à une seule foliole d'une feuille de sensitive, soit en la brûlant très-légèrement et sans l'endommager avec les rayons du soleil rassemblés par une lentille, soit en la frappant, soit en lui appliquant une goutte d'acide affaibli, etc., on voit que cette excitation locale se propage aux autres parties de la feuille. Si c'est l'une des deux folioles terminales d'une pinnule qui a été ainsi excitée, l'excitation se communique du sommet de la pinnule vers sa base en provoquant successivement la plicature des paires de folioles que porte cette pinnule; celle-ci se ploie et presque en même temps les autres pinnules en font autant. L'excitation arrive ensuite au renflement moteur du pétiole qui se fléchit. Ce n'est pas tout : l'excitation se transmet aux autres feuilles qui garnissent la tige au-dessus et au-dessous de la feuille qui a été primitivement excitée. Elles se mettent en mouvement les unes après les autres, et l'on voit leur pétiole s'abaisser le premier, ensuite leurs pinnules et enfin leurs folioles se ployer. Il faut nécessairement reconnaître qu'ici l'excitation, ou plutôt le mouvement inconnu qu'elle produit dans la plante, se

(1) Recherches sur le système nerveux.

(2) Recherches anatomiques et physiologiques sur la structure intime des animaux et des végétaux, et sur leur motilité.

transmet de proche en proche. Les mêmes phénomènes ont lieu en dirigeant l'action excitante sur toute autre partie de la plante, sur les fleurs, par exemple, ainsi que je l'ai dit plus haut, ou bien sur l'écorce de la tige. Lorsqu'une feuille est complétement ployée et qu'il n'est plus possible de provoquer chez elle aucun mouvement extérieur, elle ne laisse pas d'être encore susceptible d'éprouver l'excitation et de la transmettre au loin. Cette faculté d'éprouver l'influence des causes excitantes et de la transmettre, appartient même aux racines chez la sensitive. J'ai arrosé les racines de cette plante avec de l'acide sulfurique; sur-le-champ les feuilles de la tige se ployèrent les unes après les autres; les plus voisines des racines se ployèrent les premières, et l'excitation se propagea ainsi de bas en haut jusqu'à l'extrémité des rameaux. Je n'avais arrosé d'acide qu'une petite portion des racines de la sensitive, et la partie aérienne de la plante n'avait point eu le temps d'en absorber; j'enlevai toutes les racines offensées ainsi que la terre imprégnée d'acide. La plante, quelques heures après, redressa les pétioles de ses feuilles, mais elle ne déploya ses folioles que le lendemain; du reste, elle ne parut pas souffrir subséquemment de cette expérience. J'ai lu quelque part que cette expérience avait été faite par l'illustre Desfontaines, et je croyais ne faire que la répéter, mais je tiens de ce savant botaniste lui-même qu'il n'avait point mis l'acide sulfurique sur les racines de la sensitive, mais qu'il en avait seulement mis une goutte sur l'écorce de la partie inférieure de cette plante. Il avait observé, dans cette expérience, la plicature successive de toutes les feuilles. Ainsi, le fait de la transmission de l'excitation par les racines n'avait point été constaté avant mon expérience.

Ici une question fort importante se présente : le mouvement inconnu et invisible au moyen duquel l'excitation se propage se transmet-il par tous les organes intérieurs de la plante, ou bien y a-t-il des organes spécialement affectés à cette transmission? Pour arriver à la solution de cette question, j'ai fait les expériences suivantes :

J'enlevai un anneau d'écorce sur une tige; les feuilles, comme on le pense bien, se ployèrent toutes pendant cette opération; mais, peu après, elles reprirent leur position de déploiement; alors je brûlai légèrement quelques folioles de la feuille située immédiatement au-dessus de la décortication annulaire. Cette feuille se ploya, et peu après les autres feuilles situées au-dessous de l'endroit décortiqué se ployèrent à leur tour. Je répétai cette expérience en brûlant quelques folioles de la feuille située au-dessous de la décortication; les feuilles situées au-dessus se ployèrent; ces premières expériences me prouvèrent que l'excitation se transmet également en montant et en descendant, malgré l'enlèvement d'un anneau d'écorce.

Après avoir enlevé un anneau d'écorce, j'ouvris latéralement le canal médullaire et j'enlevai toute la moelle. Après cette opération et le repos nécessaire pour que les feuilles reprissent leur position de déploiement, je brûlai quelques folioles de la feuille située au-dessus du lieu de l'opération; les feuilles situées au-dessous ne tardèrent pas à se ployer. Cette expérience me prouva que l'excitation se transmet malgré l'enlèvement simultané de l'écorce et de la moelle. Les parties de la plante situées au-dessus et au-dessous du lieu de l'opération ne communiquaient plus ici entre elles que par la partie ligneuse du système central.

Je voulus savoir si la moelle restant seule transmettrait l'excitation : à cet effet, je choisis l'un des derniers mérithalles d'une tige dont la moelle était encore verte et dont les cellules étaient pleines de liquide. J'enlevai tout le tissu végétal jusqu'à la moelle, sur trois de ses côtés, avec un instrument bien tranchant; ensuite je fortifiai la tige affaiblie par cette opération, au moyen d'une petite attèle de bois que j'attachai avec du fil au-dessus et au-dessous du lieu de l'opération. Cela fait, j'enlevai le tissu végétal

jusqu'à la moelle sur le côté de la tige qui était resté intact. Je m'assurai que la moelle était parfaitement à nu dans tout son pourtour en l'examinant à la loupe. J'enveloppai la plaie avec du coton imbibé d'eau, afin d'empêcher que la moelle ne se desséchât, et j'attendis que les feuilles situées au-dessous du lieu de l'opération se fussent déployées, car la feuille située au-dessus ne se déploya point. Je brûlai légèrement quelques folioles de cette dernière, qui était encore dans son état de fraîcheur, sachant, par mes expériences précédentes, que la feuille, dans l'état de plicature, est tout aussi susceptible de transmettre l'excitation que lorsqu'elle est dans l'état de déploiement. Les feuilles situées au-dessous du lieu de l'opération n'éprouvèrent aucun mouvement, quelque forte que fût l'ustion de la feuille supérieure à ce même lieu de l'opération. Cette expérience me prouva que la moelle ne transmet point du tout l'excitation.

Il me restait à savoir si l'écorce était apte à transmettre l'excitation ; je préparai donc une tige de manière que sa partie supérieure ne communiquait avec sa partie inférieure, que par un lambeau d'écorce qui n'était guère que le tiers de l'écorce entière ; cette opération fut faite assez légèrement pour que les feuilles inférieures au lieu de la section ne se ployassent point, en sorte qu'il me fut possible de faire l'expérience sans aucun retard. Ayant donc brûlé légèrement les folioles de la feuille immédiatement supérieure au lieu de l'opération, les feuilles qui lui étaient inférieures ne se ployèrent point, ce qui me prouva que l'écorce ne transmet point l'excitation.

Dans un essai tenté antérieurement, j'avais obtenu un résultat opposé, lequel m'avait fait penser que l'écorce était apte à transmettre l'excitation ; mais ayant répété plusieurs fois cette expérience avec beaucoup de soin, je me suis pleinement convaincu que l'écorce ne jouissait point du tout de cette faculté, et que si quelquefois elle avait paru transmettre l'excitation, cela provenait de ce qu'en détachant l'écorce j'avais entraîné avec elle quelques filets ligneux du système central ; c'était par ces filets que l'excitation se transmettait dans ces expériences trompeuses.

Le tissu cellulaire qui occupe l'extérieur des renflements moteurs des feuilles de la sensitive, appartenant au parenchyme cortical, il doit être privé de la faculté de transmettre l'excitation, comme en est privé le système cortical auquel il appartient ; cependant, j'ai jugé convenable de m'en assurer. Pour faire cette expérience, il s'agissait de laisser une portion de ce tissu cellulaire subsister seule, comme moyen de communication entre le pétiole et la tige ; je pratiquai à souhait cette opération qui est très-délicate ; je brûlai ensuite légèrement les folioles de la feuille en expérience, et il n'y eut point de transmission de l'excitation de cette feuille aux autres feuilles de la tige. Sur une autre feuille j'enlevai tout le tissu cellulaire incurvable que contient le renflement moteur du pétiole, et je ne laissai, comme moyen de communication entre la feuille et la tige que les tubes séveux et pneumatiques, ainsi que le tissu fibreux incurvable qui constituent par leur assemblage le faisceau ellipsoïde qui occupe le centre de ce renflement moteur ; je brûlai légèrement les folioles de cette feuille, et bientôt les autres feuilles de la tige se ployèrent.

Il résulte de ces expériences que, dans la tige de la sensitive, l'excitation est exclusivement transmise par la partie ligneuse du système central. On trouve dans cette partie ligneuse des tubes fibreux que je considère comme les conduits de la séve lymphatique, et des tubes pneumatiques. Il y a aussi très-probablement des tubes conducteurs du latex parmi les gros tubes membraneux que contient le corps ligneux. Or, ce n'est point, très-probablement du moins, par les tubes pneumatiques ou par l'air qu'ils contiennent, que se transmet l'excitation ; car cette dernière n'est point transmise par l'écorce qui, cependant, contient beaucoup d'organes pneumatiques. Il ne reste donc plus à choisir, pour cette

transmission, qu'entre les tubes fibreux qui conduisent la séve lymphatique et les vaisseaux du latex. Or, on peut encore ici éliminer les vaisseaux du latex, puisque généralement ces vaisseaux se rencontrent dans le système cortical des plantes plus que dans leur système central, et que l'écorce de la sensitive ne conduit cependant point l'excitation. Il ne resterait donc ici, par voie d'exclusion, que les tubes fibreux conducteurs de la séve lymphatique ascendante pour servir de voie de transmission à l'excitation; ce serait par le liquide qu'ils contiennent que cette transmission aurait lieu. Au reste, je dois convenir que tout cela est encore fort problématique. Rien n'est encore plus obscur que ce phénomène de l'excitation, tant dans sa nature que dans le mode de sa production et de sa transmission. Mais le mode de son action sur le tissu fibreux incurvable pour déterminer son incurvation, n'est pas douteux. Ce n'est que par acquisition d'oxygène que ce tissu fibreux agit en se courbant; l'excitation qui détermine son action a donc sur lui une influence oxydante.

La transmission de l'excitation s'opère avec assez de lenteur chez la sensitive. Il s'écoule en effet un temps très-appréciable entre le moment où l'on excite par une brûlure légère ou autrement une foliole, et le moment où cette excitation produite localement parvient aux renflements moteurs des autres folioles, à ceux des pinnules, au renflement moteur du pétiole, et enfin aux renflements moteurs des autres feuilles de la tige dont elle provoque les mouvements. Il me parut donc qu'il était possible de mesurer le temps qui s'écoulait entre ces diverses actions d'incurvation, et de comparer les espaces parcourus par l'excitation avec les temps employés à parcourir ces espaces. Il était important de savoir si les variations de la température influaient sur la vitesse de la transmission de ce mouvement intérieur. J'ai fait dans cette vue un grand nombre d'expériences; voici la méthode que j'employais : je brûlais légèrement les folioles terminales de l'une des pinnules d'une feuille, soit avec un verre ardent, soit avec une flamme légère. A l'instant les folioles commençaient à se ployer par paires les unes après les autres. Je tenais près de mon oreille une montre dont le balancier effectuait ses oscillations, composées chacune de deux battements, dans une demi-seconde; je comptais le nombre de ces oscillations, à partir du moment de l'ustion jusqu'à celui où les pinnules opéraient leur flexion; je mesurais de la même manière le temps qui s'écoulait jusqu'au moment de la flexion du pétiole; j'appliquais ensuite la même mesure au temps qui s'écoulait jusqu'au moment de la flexion successive des pétioles des autres feuilles de la tige. Cette première partie de l'observation étant faite, je mesurais la longueur de la pinnule, celle du pétiole, et celle des mérithalles de la tige intermédiaires aux feuilles dont les pétioles s'étaient fléchis. De cette manière il m'était facile de comparer les espaces parcourus par l'excitation avec les temps employés pour les parcourir. J'ai fait cette expérience la température de l'atmosphère étant à + 10, 13, 15, 18, 20 et 25 degrés du thermomètre de Réaumur. Voici les résultats généraux que j'ai obtenus : la progression de l'excitation est toujours beaucoup plus rapide dans les pinnules et dans les pétioles qu'elle ne l'est dans les mérithalles de la tige. La vitesse ordinaire de ce mouvement dans les pétioles est de 8 à 15 millimètres par seconde, tandis que dans les mérithalles de la tige ce même mouvement n'excède pas deux à trois millimètres par seconde, et souvent est encore plus lent. La température de l'atmosphère ne m'a paru exercer aucune influence sur la vitesse de ce mouvement; car j'ai obtenu des résultats peu différents les uns des autres aux divers degrés de température dont je viens de faire mention. Les variations que j'ai obtenues dans ces résultats ont été purement accidentelles, et sans aucun rapport fixe avec les variations de la température extérieure; seulement j'ai observé que, lorsque la température était à + 10 degrés, l'excitation provoquée

par l'ustion se transmettait à une distance moindre que celle à laquelle elle parvenait lorsque la température était plus élevée.

On vient de voir que la transmission de l'excitation a constamment une vitesse plus considérable dans les pétioles que dans la tige, lorsque ce mouvement provoqué dans les folioles traverse le pétiole en descendant pour gagner le corps de la tige. J'ai observé que le même phénomène a lieu lorsque l'excitation provoquée dans la tige par l'ustion de son écorce arrive aux pétioles et les traverse en remontant pour gagner les pinnules et les folioles. Voici comment je faisais cette expérience : après avoir brûlé vivement l'écorce de la tige avec un verre ardent, je ne tardais pas à voir les feuilles les plus voisines fléchir leur pétiole. Bientôt après, les pinnules et les folioles de ces feuilles se ployaient à leur tour; je mesurais le temps qui s'écoulait entre le moment de la flexion du pétiole et le moment de la flexion des pinnules; puis je comparais le temps écoulé avec la longueur du pétiole. J'ai trouvé, de cette manière, que la transmission de l'excitation avait, en remontant dans le pétiole, la même vitesse que j'ai observé qu'elle avait en descendant dans ce même pétiole, c'est-à-dire que ce mouvement parcourait toujours de huit à quinze millimètres par seconde, tandis que dans le corps de la tige ce même mouvement ne parcourt que deux à trois millimètres dans le même temps. Il me paraît probable que cette différence tient spécialement à la différence du diamètre des parties; la transmission de l'excitation s'effectue plus rapidement dans les pétioles, lesquels ont peu de diamètre, que dans la tige, dont le diamètre est plus considérable. Ce mouvement ressemblerait par conséquent, sous ce point de vue, au mouvement des fluides qui, mus avec une vitesse déterminée dans un canal étroit, perdent de cette vitesse en proportion de l'élargissement du canal qui les transmet, et la reprennent de nouveau lorsque le canal se rétrécit.

L'excitation provoquée par l'ustion d'une feuille se propage quelquefois jusqu'aux branches voisines de celle qui porte cette feuille, en sorte qu'on voit quelquefois se ployer des feuilles très-éloignées de celle sur laquelle on fait l'expérience. Il m'a semblé que l'intensité de l'ustion influait sur l'étendue de la propagation de l'excitation; ce mouvement ne s'étendait qu'à peu de distance lorsque l'ustion était extrêmement légère. On sent qu'il est difficile de déterminer d'une manière certaine le degré d'intensité de l'ustion que l'on opère; cependant je pouvais juger approximativement de son intensité comparative lorsque j'employais le verre ardent; car je modérais à volonté la chaleur produite en pareil cas, en plaçant le verre de manière à ce que la feuille soumise à son action fût située plus ou moins en deçà ou au delà de son foyer. De cette manière on peut provoquer dans la feuille une excitation dont la trasmission ne s'étend pas plus loin que la base de son pétiole.

La communication en ligne droite, au moyen des tubes séveux, influe beaucoup sur la promptitude de la propagation de l'excitation; j'ai observé que, lorsqu'on brûle une feuille de sensitive, il arrive souvent que l'excitation parvient à la feuille qui est située du même côté, deux mérithalles plus bas, avant de se manifester dans la feuille située sur le mérithalle voisin, mais du côté opposé de la tige.

La sensitive perd complétement son excitabilité, lorsque la température de l'atmosphère se trouve à environ + 7 degrés R.; on peut alors brûler ses feuilles sans qu'il en résulte chez elles aucun phénomène de mouvement appréciable.

La lumière exerce sur la motilité de la sensitive une influence extrêmement remarquable, et qui pourtant n'avait point encore été observée. Cependant plusieurs naturalistes, et notamment Duhamel, Dufay et M. de Candolle, ont cherché à étudier les phénomènes que présente cette plante, lorsqu'elle est plongée dans une profonde obscurité, mais seulement dans le but d'observer ce qui arriverait dans ce

cas, par rapport au réveil et au sommeil de cette plante. J'ai rapporté ces expériences dans mon Mémoire sur le réveil et le sommeil des plantes; j'y ai joint les résultats des expériences qui me sont propres, relativement à l'influence qu'exerce une obscurité complète et continue sur le réveil et le sommeil des feuilles de la sensitive. Je reproduis actuellement ici les expériences que j'ai publiées en 1824, et qui ont pour objet de faire connaître les effets produits par l'obscurité prolongée sur la *motilité* des feuilles de la sensitive, ou sur leur faculté de se mouvoir. L'*excitabilité* ne manifestant son existence que par l'exécution des mouvements des feuilles postérieurement à l'action d'une cause excitante, il en résulte que lorsque ces mouvements n'ont point lieu malgré l'action de cette cause, on peut être en doute si c'est l'excitabilité qui est abolie ou si c'est la *motilité*, laquelle est ici l'*incurvabilité* du tissu fibreux incurvable par oxygénation, tissu fibreux qui est l'agent unique des mouvements qui sont exécutés postérieurement à l'action des causes excitantes. L'*excitabilité* ou la faculté de recevoir et de transmettre l'influence des excitants a une existence à part, car elle existe dans des parties qui sont privées de motilité; elle peut donc être abolie à part. La motilité a aussi une existence à part, car elle appartient exclusivement aux tissus incurvables, elle peut donc aussi être abolie à part, l'excitabilité continuant alors d'exister mais sans pouvoir manifester son existence par des signes sensibles. Dans l'embarras de savoir si ces deux facultés sont abolies simultanément dans les expériences que je vais exposer, je me bornerai à considérer seulement la *motilité* ou la faculté de mouvement par suite d'excitation, faculté qui seule est observable. Pour faire les expériences dont il est ici question, je plaçais une sensitive, plantée dans un pot, sous un récipient fait avec du carton fort épais. Toutes les précautions possibles avaient été prises dans la fabrication de ce récipient pour qu'aucun rayon de lumière ne pénétrât dans son intérieur. J'accumulai de la sciure de bois autour de son orifice, afin d'intercepter tout à fait la faible lumière qui aurait pu pénétrer par cette voie. Cet appareil fut établi dans un appartement qui, situé sous le toit et exposé au midi, éprouvait pendant le jour une forte chaleur, qu'il conservait avec peu de diminution pendant la nuit. C'était pendant les chaleurs de l'été; le thermomètre se tint constamment, dans cet appartement, à une élévation de + 20 à 25 degrés R. pendant mon observation. La sensitive, ainsi plongée dans une profonde obscurité sans être soustraite à l'influence de la chaleur, commença par ployer toutes ses feuilles. Vers le milieu du premier jour, elle les déploya à demi, et les ferma complétement le soir. Le lendemain au matin, je trouvai toutes les feuilles complétement déployées, et déjà leur motilité était sensiblement diminuée; elles ne se fermèrent plus d'une manière complète, et le troisième jour, je les trouvai à moitié déployées, et leurs folioles ne se mouvaient plus lorsqu'on les frappait; le pétiole seul alors se fléchissait. Je voulus voir si, dans cette diminution considérable de la motilité, l'excitation aurait éprouvé de la diminution dans la rapidité de sa progression. Je brûlai légèrement l'une des folioles d'une feuille; l'excitation se transmit, comme à l'ordinaire au renflement moteur du pétiole et de là aux pétioles de deux autres feuilles de la tige. Dans cette progression, l'excitation parcourut dix millimètres par seconde dans la pinnule de la feuille et dans son pétiole; elle parcourut deux millimètres par seconde dans la tige. La même expérience, faite sur un autre pied de sensitive qui était dans le même appartement, et qui jouissait de toute sa motilité, me donna des résultats à peu près pareils. Ainsi il me fut prouvé que la diminution de la motilité n'en apporte aucune dans la rapidité de la progression du mouvement qui transmet l'excitation. Seulement je remarquai que ce mouvement se propagea moins loin chez la sensitive dont la motilité était diminuée. Ce dernier fait prouve que, dans cette circonstance, l'*excitabilité* était altérée comme la *motilité*; mais elle

n'avait éprouvé d'altération que dans l'étendue de la transmission du mouvement par lequel l'excitation se propage, et elle était demeurée intacte sous le point de vue de la rapidité de ce mouvement. Je remis la sensitive sous le récipient pour continuer mon observation. Le quatrième jour, les pétioles des feuilles se ployaient encore, mais faiblement, lorsqu'on les frappait vivement ; les folioles étaient immobiles : le cinquième jour, la motilité avait complétement disparu. L'ustion elle-même ne provoquait plus aucun mouvement dans les feuilles dont les folioles étaient à moitié déployées, et dont les pétioles étaient redressés. J'exposai alors cette sensitive à la lumière du soleil ; les folioles tardèrent peu à se déployer complétement, et, au bout de deux heures, elles commencèrent à se mouvoir légèrement lorsqu'on les frappait. Cependant le pétiole continuait à demeurer immobile. Après deux heures et demie d'insolation, les pétioles commencèrent à manifester de la motilité ; elle augmenta peu à peu, et, dans le courant de la journée suivante, la sensitive avait complétement récupéré sa motilité. Il résulte de cette expérience qu'il suffit de priver la sensitive de l'influence de la lumière pour lui faire perdre les conditions de sa motilité, et que c'est dans l'influence de cet agent qu'elle puise de nouveau ces conditions, lorsqu'elle les a perdues. J'ai voulu voir quelle était l'influence qu'exerçait la température extérieure sur ce phénomène. J'ai donc répété cette expérience de la même manière sur d'autres pieds de sensitive, car celui sur lequel cette expérience avait été faite avait un peu souffert ; plusieurs de ses feuilles étaient tombées. Je plaçai donc une de ces plantes sous mon récipient ; la chaleur de l'appartement était alors de + 22 degrés R., et elle monta jusqu'à 24 degrés pendant la durée de l'expérience. Au bout de quatre jours et demi d'obscurité, la sensitive avait complétement perdu sa motilité. Dans cette seconde expérience, l'abolition de la motilité fut un peu plus rapide que dans la première ; cela me parut devoir dépendre du degré de la température extérieure, qui avait été constamment de + 22 à 21 degrés, tandis que dans la première expérience cette même température avait été assez constamment de + 20 à 23 degrés ; elle ne s'était élevée qu'un seul jour à 25 degrés. Pour m'assurer davantage du degré de l'influence qu'exerçait la température extérieure sur la production de ce phénomène, je fis de nouveau cette même expérience par une température qui varia de + 14 à 20 degrés. Il fallut dix jours d'obscurité à la sensitive pour lui faire perdre complétement sa motilité. Il me parut bien évident, par cette troisième expérience, qu'une température modérée retardait l'extinction de la motilité chez la sensitive, plongée dans l'obscurité ; les expériences précédentes m'avaient appris que cette extinction était bien plus rapide lorsque la température était élevée. J'avais vu précédemment que l'exposition aux rayons directs du soleil rendait assez promptement les conditions de la motilité à la sensitive qui les avait perdues. Je voulus voir, dans cette circonstance, si le même effet serait produit par la lumière diffuse du jour. J'exposai donc la sensitive tirée de dessous le récipient, en plein air, derrière un bâtiment qui la garantissait des rayons directs du soleil. Le premier jour, la sensitive ne manifesta aucune motilité ; mais lorsque la nuit arriva, quelques-unes de ses feuilles, celles qui avaient le plus récemment atteint leur complet développement, se ployèrent, et présentèrent ainsi le phénomène du sommeil qui avait cessé d'avoir lieu sous le récipient. Le lendemain, les folioles se ployèrent, mais elles ne manifestaient aucune motilité sous l'influence des chocs les plus forts. Les vieilles feuilles avaient presque toutes perdu leurs folioles ; celles qui restaient commencèrent à présenter le phénomène du sommeil le second jour. Le troisième jour, les folioles commencèrent à se mouvoir sous l'influence des chocs ; les pétioles étaient encore immobiles. Le quatrième jour, les pétioles commencèrent à se mouvoir assez légèrement ; et, le cinquième jour, la sensitive avait récupéré sa motilité. Ainsi il fallut cinq jours

d'exposition à la lumière diffuse du jour pour rendre à la sensitive les conditions de sa motilité : on a vu qu'il suffisait de quelques heures d'exposition à la lumière directe du soleil pour produire le même effet. Je recommençai cette expérience une quatrième fois par une température qui varia de + 13 à 17 degrés R. Il fallut onze jours d'obscurité pour opérer l'extinction complète de la motilité de la sensitive. Cette fois je ne pus observer le retour de la motilité, parce que la sensitive rendue à la lumière perdit toutes ses feuilles. Je répétai une cinquième fois l'expérience dont il est ici question par une température qui varia de + 10 à 15 degrés R. dans l'appartement où était le récipient sous lequel était placée la sensitive. Cette plante, plongée dans une obscurité complète, conserva sa motilité sans aucune altération bien sensible pendant dix jours. Le douzième jour, les folioles cessèrent de se mouvoir lorsqu'on les frappait; les pétioles seuls possédaient encore leur motilité. Le quinzième jour, toute motilité appréciable avait disparu. La sensitive avait souffert par cette longue obscurité; plusieurs de ses feuilles avaient jauni et leurs folioles tombaient à la moindre secousse. Cependant un assez grand nombre de ces feuilles avaient conservé leur couleur verte et me paraissaient susceptibles de récupérer leur motilité. Je voulus voir si cet effet pouvait être produit par l'exposition de la plante à la lumière diffuse, telle qu'elle parvient dans une chambre par les fenêtres au moyen de la réflexion des nuages et des objets du dehors. Ayant donc tiré ma sensitive de dessous son récipient, je la plaçai dans un lieu de l'appartement qui était bien éclairé, mais qui ne recevait point la lumière directe du soleil; dès le soir du premier jour, quelques-unes des feuilles les moins âgées commencèrent à présenter le phénomène du sommeil, qui avait cessé d'avoir lieu sous le récipient. Le lendemain, les folioles se déployèrent à la lumière, mais restèrent immobiles sous l'influence des chocs les plus forts. Les feuilles plus âgées ne commencèrent à présenter le phénomène du sommeil que le quatrième jour. Alors les folioles des jeunes feuilles se mouvaient fort légèrement lorsqu'on les choquait vivement avec le doigt; les pétioles étaient immobiles. Le cinquième jour, la plante continua de présenter les mêmes phénomènes d'une motilité languissante. Le sixième jour, je plaçai la sensitive aux rayons d'un soleil ardent; au bout de quatre heures, les jeunes feuilles avaient complétement récupéré leur motilité, et les vieilles feuilles l'avaient récupérée en partie. Ces dernières avaient jusqu'alors refusé de se mouvoir sous l'influence des chocs. L'exposition de la plante au soleil pendant la durée du septième jour acheva de lui rendre complétement sa motilité. Il résulte de ces expériences que la privation de la lumière occasionne chez la sensitive l'abolition des conditions de la motilité, et que l'exposition de cette plante à la lumière lui rend ces conditions perdues. Cette perte des conditions de la motilité dans l'obscurité est fort rapide quand la température est très-élevée, elle est beaucoup plus lente lorsque cette température offre un certain degré d'abaissement. En effet, on a vu qu'il n'a fallu que quatre à cinq jours d'absence de la lumière, par une température de + 20 à 25 degrés, R., pour abolir complétement la motilité d'une sensitive, tandis que, par une température de + 15 à 20 degrés, il a fallu dix jours d'obscurité pour produire cette abolition; et qu'il a fallu quinze jours d'obscurité pour produire ce même effet, lorsque la température était de + 10 à 15 degrés. La rapidité du retour des conditions de la motilité chez la sensitive qui les a perdues dans l'obscurité est en raison de l'intensité de la lumière à laquelle elle est soumise. On a vu en effet qu'il ne faut que quelques heures d'exposition à la lumière directe du soleil pour réparer ces conditions perdues, tandis que pour produire le même effet il faut plusieurs jours d'exposition à la lumière diffuse du jour. Il résulte de ces expériences que la lumière, et spécialement la lumière solaire, est un des agents extérieurs dans l'in-

fluence duquel les végétaux puisent le renouvellement des conditions de leur motilité. Dans les expériences qui viennent d'être exposées, j'ai observé que les folioles ont perdu leur motilité avant les pétioles, et l'ont récupérée avant eux. J'ai observé de même que les jeunes feuilles ont récupéré leur motilité avant les vieilles feuilles, et que, chez les unes comme chez les autres, les premiers indices de la motilité réparée se sont manifestés par les seuls phénomènes du sommeil et du réveil. Ces phénomènes de motilité ont été pendant quelque temps les seuls qu'ait présentés la sensitive, dont la motilité n'était pas encore entièrement récupérée. Il résulte de là, qu'en privant une sensitive d'une portion des conditions de sa motilité, on la réduit au mode d'existence des végétaux vulgaires, c'est-à-dire qu'elle ne meut point ses feuilles sous l'influence des excitants mécaniques, bien qu'elle les meuve encore pour présenter les phénomènes du sommeil et du réveil. Il est enfin un état d'épuisement des conditions de la motilité qui, sans occasionner chez la sensitive la mort de la feuille, fait qu'elle demeure en position de réveil dans un état d'immobilité parfaite, et qu'elle est incapable de sommeil comme cela a lieu chez tant d'autres végétaux. Cela prouve que toutes les différences qui existent à cet égard entre les plantes, dérivent seulement de ce qu'elles possèdent en quantité différente les conditions de la motilité. Je publiais ces expériences en 1824 (1). Voici les reflexions par lesquelles je terminais leur exposition :

« Les conditions de la motilité sont réparées, chez les végétaux, par la lumière solaire ; par conséquent l'influence qu'exerce la lumière sur les végétaux est comparable à celle qu'exerce l'oxygénation respiratoire sur les animaux. On sait que, chez ces derniers, l'énergie de la motilité est généralement en raison de la quantité de la respiration, c'est-à-dire en raison de la quantité de l'oxygène absorbé ; toute motilité cesse rapidement, lorsque l'oxygénation du sang n'a plus lieu. Le genre de l'influence qu'exerce l'oxygénation des fluides sur l'énergie de la motilité animale est inconnu ; le fait seul de cette influence est bien constaté. Il en est de même de l'influence qu'exerce la lumière solaire sur l'énergie de la motilité végétale ; le genre de cette influence est inconnu, mais le fait de cette influence est constaté. Donc l'*insolation* est pour les végétaux ce que l'*oxygénation* est pour les animaux. Ce sont deux sortes de *vivification*, si je puis m'exprimer ainsi. Il résulte de ce rapprochement que l'*étiolement* des végétaux est un état analogue à celui de l'*asphyxie* des animaux; dans l'un comme dans l'autre, il y a diminution ou abolition des conditions de la motilité, par cause de l'absence de l'agent extérieur qui sert à les entretenir. Ce rapprochement inattendu est encore fortifié par la considération suivante. On sait combien l'asphyxie est rapide chez les animaux *à sang chaud ;* on sait combien elle est lente chez les animaux *à sang froid ;* on sait enfin, par les expériences de M. Edwards, que chez ces derniers l'asphyxie peut être à volonté accélérée ou retardée, en augmentant ou en diminuant la température extérieure dans certaines limites. Or, chez la sensitive, nous observons le même phénomène. Nous voyons son *asphyxie* arriver promptement quand il fait chaud, et tardivement quand la température est plus basse. Tout concourt donc à prouver qu'une même fonction réparatrice de la motilité est exercée de deux manières différentes par les animaux et par les végétaux. Les premiers exercent cette fonction réparatrice au moyen de l'*oxygénation*, et les seconds au moyen de l'*insolation*. »

J'étais loin alors de soupçonner ce que j'ai découvert douze ans plus tard (1836), savoir que l'oxygène produit par les végétaux sous l'influence de la lumière et spé-

(1) Recherches anatomiques et physiologiques sur la structure intime des animaux et des végétaux, et sur leur motilité.

cialement de la lumière solaire, est versé dans leurs organes pneumatiques pour y servir à leur respiration; laquelle, comme celle des animaux, consiste dans l'assimilation de l'oxygène. Il résulte de ce fait nouveau que les deux causes de *vivification* que je croyais différentes, savoir, l'*insolation* et l'*oxygénation*, se réduisent de cette manière à une seule, qui est l'*oxygénation*. Ainsi s'est trouvée vérifiée l'exactitude d'un premier aperçu qui m'avait porté à considérer l'étiolement des plantes comme un état analogue à celui de l'asphyxie des animaux. J'avais déjà préludé à cette découverte, en 1831, par les observations qui m'avaient fait voir qu'il existe chez les végétaux un système d'organes pneumatiques (1), et que l'air contenu dans ces organes aérifères est indispensablement nécessaire pour l'exercice des fonctions vitales des plantes, et spécialement, par rapport à la sensitive, pour l'existence de sa motilité. Je reproduis ici l'exposition de l'expérience qui m'a conduit à ce résultat; j'en ai déjà fait mention dans mon Mémoire sur le réveil et le sommeil des plantes. Je mis sous le récipient de la pompe pneumatique une sensitive plantée dans un pot; dès le premier coup de piston les feuilles se ployèrent. Lorsque le vide fut fait, les feuilles ne tardèrent pas à se déployer; les pétioles se dressèrent vers le ciel plus que dans l'état de réveil normal, mais les folioles ne se déployèrent qu'à demi. La plante demeura invariablement dans cet état, lequel est tout pareil à celui qu'elle offre lorsqu'elle est soumise à une obscurité prolongée; elle ne dirigea point ses feuilles vers la lumière. Au bout de deux heures je retirai la sensitive de dessous le récipient. Ayant frappé vivement les feuilles avec le doigt, les folioles à demi ployées achevèrent de se ployer, mais les pétioles demeurèrent immobiles dans leur rectitude. Je remis la plante à l'air libre. Les folioles ne tardèrent pas à se déployer complétement, et, en moins d'une heure, la plante avait repris toute sa faculté de se mouvoir, tant sous l'influence des chocs que sous l'influence de la lumière. Le lendemain, la sensitive paraissant n'avoir souffert en aucune manière de cette expérience, je la remis dans le vide, et je l'y laissai pendant dix-huit heures : elle y passa une nuit, et ne manifesta, par aucun mouvement, qu'elle fût affectée le soir par l'absence de la lumière ni le matin par son retour. Les pétioles de ses feuilles restèrent constamment immobiles dans leur état de redressement, et ses folioles restèrent toujours à demi déployées. Lorsque je retirai la sensitive du récipient, je trouvai qu'elle avait complétement perdu la faculté de se mouvoir; les chocs les plus vifs ne produisaient ni l'abaissement de ses pétioles ni la plicature de ses folioles. Replacée à l'air libre, elle reprit peu à peu sa motilité et par conséquent son excitabilité.

Dans cette expérience, l'air qui, dans l'état naturel, remplit toutes les cavités aérifères des feuilles et de la tige, avait été soutiré par la pompe pneumatique. Dès lors tous les mouvements dont l'exercice est lié chez la sensitive à l'excitabilité de cette plante, se trouvèrent abolis. Il n'y eut plus ni sommeil, ni réveil, ni direction des feuilles vers la lumière; il n'y eut plus de mouvements de plicature des feuilles sous l'influence des excitants. Toutes ces actions vitales sont donc nécessairement liées, pour leur exercice, à l'existence de l'air atmosphérique dans les cavités aérifères de la plante. La privation de cet air constitue donc cette plante dans un véritable état d'*asphyxie*. On pourrait peut-être penser que, dans cette circonstance, il y a déchirement des organes intérieurs de la plante par l'expansion de l'air qu'ils contiennent, et que c'est à cette cause de désorganisation qu'il faut attribuer l'abolition des mouvements. Mais cette idée ne peut se soutenir, puisqu'on voit la sensitive remise à l'air libre récupérer promptement son excitabilité et ses mouvements. Il est évident qu'elle ne doit le retour de ces phénomènes vitaux qu'au retour de l'air atmosphérique dans ses organes pneumatiques. Ainsi, la sensitive est véritablement

(1) Annales des Sciences naturelles, t. xxv, p. 242.

asphyxiée dans le vide comme elle l'est par une obscurité prolongée; dans l'un et dans l'autre cas, ses organes pneumatiques sont privés d'air respirable; la pompe pneumatique soustrait cet air, et l'obscurité en suspendant la fabrication de l'oxygène par la plante s'oppose, par cela même au renouvellement de l'air respirable dans ses organes pneumatiques.

Il est infiniment probable que, dans ces expériences, l'excitabilité et la motilité de la sensitive sont abolies simultanément; mais cela n'est point prouvé pour l'excitabilité comme cela l'est pour la motilité du tissu fibreux incurvable par oxygénation, le seul des tissus incurvables qui se meuve sous l'influence des excitants. On voit clairement pourquoi l'absence de l'oxygène entraîne nécessairement l'absence du mouvement d'incurvation dans le tissu fibreux; c'est par la même raison qui fait que l'absence de l'eau entraîne l'absence du mouvement d'incurvation du tissu cellulaire incurvable par turgescence d'eau ou par endosmose; mais quel est le rapport qui existe entre l'oxygénation du tissu organique et l'existence de l'excitabilité ou de la faculté de recevoir l'influence des excitants? Ici l'observation n'apprend rien.

Le tissu cellulaire incurvable par endosmose auquel est due la position de réveil des feuilles de la sensitive conserve son incurvabilité, et par conséquent son action dans l'état d'asphyxie de la plante. L'endosmose, en effet, n'a point besoin de la présence de l'oxygène pour s'exercer, elle a lieu aussi bien dans le vide que sous la pression de l'atmosphère. Voilà pourquoi, dans le vide, l'incurvabilité du tissu cellulaire demeure sans altération. Les expériences suivantes achèvent de prouver cette vérité. Les péricarpes de balsamine et les fruits mûrs du *momordica elaterium* ne doivent les mouvements si énergiques qu'ils exécutent [1] qu'à l'incurvation du tissu cellulaire qui les compose presque en totalité. J'ai mis dans le vide de la pompe pneumatique des fruits mûrs de *momordica*, pourvus de leur pédoncule, et des péricarpes mûrs de balsamine. Au bout de vingt heures de séjour dans le vide, les fruits du *momordica elaterium* chassèrent leur liquide intérieur et leurs graines avec autant d'impétuosité qu'à l'ordinaire, et les valves des péricarpes de la balsamine étant détachées les unes des autres, se roulèrent en spirale avec autant de force que si elles n'avaient pas été soumises à l'expérience. L'incurvabilité de ces fruits n'avait donc subi aucune altération. Ainsi, il est bien prouvé que l'asphyxie n'abolit l'incurvation que du seul tissu fibreux incurvable par oxygénation.

Une autre cause d'abolition de l'excitabilité et de la motilité chez les végétaux, est l'introduction dans leur organisme de substances nuisibles ou délétères.

On doit à MM. F. Marcet [2] et Macaire Princeps [3] des observations sur l'influence qu'exerce l'absorption des substances vénéneuses sur les végétaux. M. Marcet a vu que les plantes meurent assez promptement quand on leur donne à pomper des solutions salines ou des acides, des solutions d'opium, de noix vomique, de Belladone, de l'eau distillée, de laurier cerise, de l'acide prussique, de l'alcool, etc. M. Princeps a dirigé ses recherches à cet égard sur les plantes douées de mouvements excitables. Il a vu que les sensitives auxquelles on donnait à pomper une solution d'opium, de l'acide prussique, une solution de sublimé corrosif ou d'arsenic, perdaient la faculté de mouvoir leurs feuilles sous l'influence des excitants; il a observé le même effet par rapport aux mouvements des étamines de l'épine-vinette. Il paraissait résulter évidemment de ces expériences, que les substances qui sont vénéneuses pour les animaux le sont de la même manière pour les végétaux. L'opium en particulier, qui abolit si promptement l'*excitabilité* chez les animaux, abolit également cette faculté vitale chez les végé-

[1] Voyez le IXe mémoire pages 226 et 229.
[2] De l'action des poisons sur le règne végétal.
[3] Mémoire sur l'influence des poisons sur les plantes douées de mouvements excitables.

taux. Cette similitude d'effet semblait établir une grande analogie ou même une similitude exacte entre l'*excitabilité* des animaux et l'excitabilité des végétaux, lorsque des observations subséquentes dues à M. Goeppert (1), sont venues infirmer ces conclusions. Cet observateur a fait voir en effet que toutes les substances extractives en solution dans l'eau, sont aussi vénéneuses pour les plantes que l'est une solution d'opium, en sorte que l'empoisonnement d'une sensitive est aussi prompt et aussi complet lorsqu'on lui donne à pomper une solution d'extrait de la plante la plus innocente que lorsqu'on lui donne à pomper une solution d'opium. Avant que M. Goeppert eût publié ces observations, j'en avais fait de semblables de mon côté et qui m'avaient donné les mêmes résultats. J'ai même vu que deux rameaux de sensitive étant plongés par leur base, l'un dans une solution de sucre et l'autre dans une solution d'opium, le premier éprouvait des effets vénéneux plus rapides et plus intenses que ceux qu'éprouvait le second. En général, toutes les substances en solution dans l'eau, autres que celles que contient habituellement l'eau qui imbibe la terre, sont vénéneuses pour les végétaux, lorsqu'elles sont introduites immédiatement dans leur organisme et sans passer par les filtres de leurs racines. En effet, une plante arrosée avec de l'eau chargée de principes extractifs, loin d'en éprouver du mal, végète avec plus de vigueur, tandis que la même eau pompée par la tige coupée que l'on met tremper dedans par sa base, produit dans le même végétal un véritable empoisonnement. C'est à peu près comme si un liquide alimentaire tel que du bouillon était introduit immédiatement dans nos veines, il y produirait indubitablement un effet délétère. Toute substance destinée à l'alimentation a besoin de subir, lors de son introduction par l'absorption, une modification qui la rend apte à opérer la nutrition. Ce fait prouve que les végétaux font subir aux matières extractives qu'ils puisent dans le sol, une élaboration qui les rend propres à servir à leur nutrition. On voit ainsi pourquoi toutes les substances en solution introduites immédiatement dans le tissu organique des végétaux, sont vénéneuses pour eux. Mais on ignore comment cela a lieu.

(1) Sur l'influence de l'acide hydrocyanique, du camphre et des substances extractives sur les plantes. (Ann. de Sc. nat., t. xvii.)

§ III. — *Mécanisme du mouvement chez les feuilles du sainfoin oscillant* (hedysarum girans. *L.*)

La feuille du sainfoin oscillant a trois folioles comme le trèfle. La foliole impaire qui est très-grande relativement aux deux autres, présente quelquefois un mouvement assez lent de balancement en s'inclinant alternativement vers la droite et vers la gauche; elle présente en outre le réveil en s'élevant et le sommeil en s'abaissant. Les deux folioles latérales qui sont fort petites, sont dans un mouvement continuel d'élévation et d'abaissement alternatifs. Ce mouvement des folioles dépend d'une cause excitatrice intérieure sans cesse agissante et qui paraît complétement indépendante de toute excitation extérieure; il s'effectue toujours par petites saccades; les folioles opèrent leur descente en se fléchissant d'un côté, et elles opèrent leur ascension en se fléchissant du côté opposé, en sorte que le sommet de la foliole décrit une ellipse. Cette oscillation s'effectue dans l'espace d'une à deux minutes. Elle a lieu même pendant la nuit et elle s'arrête lorsque la plante est soumise à l'influence d'un soleil ardent. Alors les folioles qui ont cessé de se mouvoir ont leur pointe fixement dirigée vers le ciel; la grande foliole impaire prend la même direction.

Les mouvements des folioles s'exécutent au moyen de la flexion de leur pétiole qui est très-grêle. L'extrême ténuité de ce pétiole rend son étude anatomique difficile. Il faut, avec un instrument tranchant, délicat et bien affilé, enlever une lame de tissu sur deux côtés opposés du pétiole. Alors, on soumet au microscope

la partie moyenne extrêmement mince qui reste. J'ai pu aussi obtenir à force d'essais une tranche mince et transversale de ce pétiole, qui se prête difficilement à cette opération à cause de sa grande tenuité. Ayant soumis au microscope la coupe longitudinale et la coupe transversale obtenues comme il vient d'être dit, j'ai vu que ce pétiole offre en dehors une couche de tissu cellulaire dont les cellules, d'une extrême petitesse, sont décroissantes de grandeur du dehors vers le dedans. Cette couche de tissu cellulaire occupe de chaque côté le tiers environ de l'épaisseur diamétrale du pétiole, en sorte qu'il ne reste que le tiers de cette épaisseur pour les parties, qui sont situées au-dessous ou vers le centre. Immédiatement au-dessous de cette couche de tissu cellulaire, se voit une couche extrêmement mince de tissu fibreux demi transparent. Il est facile de le reconnaître à son aspect et à sa position pour l'analogue du tissu fibreux incurvable par oxygénation, qui occupe une place semblable dans les renflements moteurs des folioles du haricot (fig. 1 et 2, pl. 16) et dans le renflement moteur du pétiole de la feuille de sensitive (fig. 2 et 3); au-dessous de la couche de tissu fibreux se trouvent les tubes pneumatiques et séveux. Ainsi, la structure du pétiole des petites folioles du sainfoin oscillant est essentiellement la même que celle qui s'observe dans les organes moteurs des feuilles chez le haricot et chez la sensitive. Il est donc certain que les mouvements des petites folioles du sainfoin oscillant, sont dus à l'action d'un tissu cellulaire incurvable par endosmose et à l'action d'un tissu fibreux incurvable par oxygénation, ainsi que cela a lieu chez le haricot et chez la sensitive. Comme la couche de tissu cellulaire est considérablement supérieure en volume à la couche de tissu fibreux dans les pétioles des petites folioles du sainfoin oscillant, c'est cette couche de tissu cellulaire incurvable par endosmose qui manifeste exclusivement son action dans les expériences suivantes : J'ai divisé l'un de ces pétioles en deux moitiés longitudinales; à l'instant ces deux moitiés se sont courbées en arc dont l'épiderme occupait la convexité. Cette incurvation devint plus profonde en plongeant ces petits arcs dans l'eau. Ainsi, leur incurvation en dedans avait lieu par endosmose implétive. Je transportai ces petits arcs dans le sirop de sucre; ils se redressèrent, et ensuite se courbèrent en dehors. Cette nouvelle incurvation avait lieu par endosmose déplétive. Je divisai longitudinalement un pétiole en deux parties très-inégales; il n'y avait qu'une lame très-légère de tissu qui fut enlevée d'un côté. Le plus volumineux de ces fragments de pétiole se courba en arc, dont la concavité était tournée du côté de la section. L'ayant plongé dans l'eau, il se redressa, et immédiatement ensuite il se courba de nouveau, s'agitant ainsi comme un vermisseau. La raison de ces deux mouvements en sens opposé est facile à saisir. Le pétiole s'est d'abord courbé dans le sens voulu par la prédomination d'action d'incurvation du côté qui avait conservé son intégrité; ce côté, ayant sa masse entière, l'emportait par cela même sur le côté affaibli par l'ablation d'une partie de sa masse; mais ce dernier, dont l'épiderme était enlevé, absorbait l'eau avec plus de facilité et de rapidité que ne le faisait son antagoniste; cette cause ayant fait prédominer sa force d'incurvation, malgré son infériorité de masse, il opéra le redressement du pétiole. Mais cet effet ne pouvait être que momentané. L'eau, ayant bientôt pénétré dans le tissu du côté intact, provoqua l'endosmose implétive de ses cellules, et lui rendit sa prédomination de force d'incurvation. Après l'accomplissement de ce dernier phénomène, le pétiole courbé en arc conserva cette position, et resta immobile dans l'eau. J'ajoutai une goutte d'acide nitrique à l'eau dans laquelle était plongé ce pétiole. A l'instant, le pétiole courbé en arc se redressa, puis il se courba de nouveau, et plus profondément qu'auparavant. Cette expérience concourt avec celles que j'ai rapportées dans le mémoire IX (page 229), touchant l'action des acides sur l'incurvation des valves du

péricarpe de la balsamine pour prouver que l'accession d'un acide provoque l'incurvation du tissu cellulaire avec plus d'énergie et dans le même sens que le fait l'accession de l'eau pure.

Le pétiole de sainfoin oscillant auquel on a conservé son intégrité, n'exécute aucun mouvement d'incurvation quand on le plonge dans l'eau. Alors ce liquide pénètre également dans toutes les parties de son tissu; et de l'égalité d'endosmose implétive qui en résulte, naît l'équilibre des forces antagonistes d'incurvation qui existent dans le tissu cellulaire de ce pétiole. On sent facilement que l'extrême exiguïté de ce pétiole, ne m'a pas permis d'isoler son tissu fibreux de son tissu cellulaire, pour faire sur le premier de ces tissus des expériences analogues à celles que j'ai faites sur le tissu fibreux des renflements moteurs des feuilles chez le haricot et la sensitive. Je ne puis donc procéder ici que par une légitime analogie, en admettant que chez le sainfoin oscillant le tissu fibreux des pétioles tend à se courber *en dedans*, et que le mécanisme des mouvements de ces pétioles est analogue à celui que j'ai établi pour les renflements moteurs pétiolaires chez les plantes qui me servent à établir cette analogie. Chez ces dernières plantes, c'est le tissu cellulaire incurvable par endosmose que contient le renflement moteur qui opère l'élévation de la feuille, et c'est le tissu fibreux incurvable par oxygénation contenu dans ce même renflement moteur qui opère l'abaissement de la feuille ou de la foliole. Il en doit être de même par rapport aux folioles du sainfoin oscillant; or, chez cette plante, il n'y a pas seulement, comme chez la sensitive, un mouvement d'abaissement et un mouvement d'élévation des feuilles ou des folioles, il y a en outre un mouvement par lequel la descente de chaque foliole s'opère avec une inflexion d'un côté, tandis que l'ascension subséquente s'opère avec une inflexion du côté opposé. Ainsi, les incurvations successives et saccadées qu'affecte le pétiole, sont telles que la convexité de ces courbures successives se trouve successivement sur tous les côtés du pourtour de ce pétiole; mais comme l'incurvation est prédominante dans les deux côtés supérieur et inférieur, il en résulte que le sommet de la foliole ne décrit point un cercle dans son mouvement, mais bien une ellipse dont le grand diamètre est à peu près vertical. Ce mouvement de circumduction semble prouver que la cause excitatrice intérieure à laquelle il est dû, aurait une marche révolutive autour de l'axe du pétiole. Cette cause excitatrice intérieure fait prédominer tour à tour l'action du tissu cellulaire et l'action du tissu fibreux, actions auxquelles sont dus les mouvements d'incurvation du pétiole, et par l'exercice successif de ces deux actions antagonistes dans tout le pourtour du cylindre que représente le pétiole, ce dernier se trouve affecter les incurvations successives et saccadées dont j'ai parlé plus haut.

La grande foliole impaire de la feuille du sainfoin oscillant possède dans son pétiole une organisation tout à fait semblable à celle qui existe dans le pétiole des petites folioles: pourquoi ne présente-t-elle donc pas, comme ces dernières, des mouvements continuels d'élévation et d'abaissement? Je penche à croire que le phénomène tout à fait spécial que présentent, à cet égard, les petites folioles latérales tient à l'exiguïté et par conséquent à l'extrême flexibilité de leur pétiole. Supposons, en effet, que la force intérieure qui produit les mouvements d'incurvation de ces pétioles soit très-faible, elle ne produira son effet de mouvement d'incurvation qu'autant que la partie qu'elle doit courber sera extrêmement flexible, une partie plus épaisse résistera à son action. C'est peut-être à cause de cela que, chez les oscillariées, les filaments extrêmement déliés sont les seuls qui présentent des incurvations alternatives ou des oscillations. Chez le sainfoin oscillant, la grande foliole impaire ne s'élève que dans le réveil et ne s'abaisse que dans le sommeil; ces deux mouvements sont déterminés par la présence et par l'absence successives de la

lumière. Or, on peut considérer ces influences extérieures comme favorisant l'exécution des mouvements de la foliole, mouvements oscillatoires qui tendraient naturellement à s'exécuter sans l'intervention de ces influences extérieures, si leur cause intérieure possédait assez de force pour vaincre l'obstacle que lui oppose la rigidité du pétiole. Voici sur quoi je fonde mon opinion à cet égard. J'ai rapporté, dans le x[e] mémoire (page 265), les curieuses expériences par lesquelles M. de Candolle a fait voir que la sensitive soumise à la lumière continue, loin de cesser de présenter les phénomènes alternatifs du sommeil et du réveil, accélère, au contraire, la succession de ces alternatives de mouvement dans ses feuilles et dans ses folioles. Il résulte de là que les feuilles de la sensitive présentent dans cette circonstance des phénomènes de mouvement alternativement dirigé dans le sens de l'élévation et dans le sens de l'abaissement, sans l'intervention d'aucun changement dans les influences extérieures, c'est-à-dire que ces feuilles et leurs folioles se comportent exactement comme le font les petites folioles du sainfoin oscillant, avec la seule différence du temps que ces mouvements alternatifs mettent à s'exécuter dans leur succession non interrompue. Les folioles du sainfoin oscillant effectuent chacune de leurs oscillations dans l'espace d'une ou deux minutes, les feuilles de la sensitive soumises à la lumière continue effectuent chacune de leurs oscillations dans un espace de temps inférieur à celui de la durée du jour, et cet espace de temps, affecté à l'oscillation, devient de plus en plus petit. Si cette expérience pouvait se faire à la lumière solaire continue et qu'elle durât longtemps, peut-être la diminution continuelle de l'espace de temps affecté à l'oscillation des feuilles arriverait-elle jusqu'à établir un grand rapprochement entre la durée de cette oscillation et la durée de l'oscillation des folioles chez le sainfoin oscillant. Chez la première de ces plantes comme chez la dernière, l'oscillation serait due exclusivement à l'action d'une cause excitatrice intérieure, puisqu'il n'y aurait aucun changement dans les influences extérieures. L'expérience de M. de Candolle, ainsi rapprochée du phénomène de l'oscillation continuelle des folioles du sainfoin oscillant, établit donc, à mon avis, ce fait aussi curieux qu'il est difficile à comprendre dans sa cause, savoir, qu'il existe dans les organes moteurs des végétaux une tendance à opérer un mouvement oscillatoire, ou un mouvement alternativement dirigé dans des sens inverses. La présence et l'absence alternatives de la lumière, en favorisant alternativement l'action qui produit l'élévation et l'action qui produit l'abaissement de la feuille, favorisent l'exécution de cette oscillation, laquelle presque généralement n'a point lieu sans ce changement dans l'influence extérieure, mais qui a lieu par exception sans l'assistance d'aucun changement dans cette même influence extérieure chez les petites folioles du sainfoin oscillant et chez les feuilles de la sensitive, lorsque cette plante est soumise à une lumière continue. Si le sainfoin oscillant était soumis à une lumière continue, la grande foliole impaire présenterait probablement des oscillations qui seraient exécutées, chacune dans un temps plus court que ne l'est celui de sa période diurne de réveil et de sommeil, ainsi que cela a lieu chez la sensitive; alors on verrait, avec une lumière et une température constamment les mêmes, les petites folioles du sainfoin oscillant opérer leurs rapides oscillations et la grande foliole impaire opérer une oscillation semblable, mais plus lente. La cause intérieure et excitatrice de cette oscillation spontanée est fort mystérieuse, elle paraît dépendre de la cause même de la vie.

XII.

DE LA DIRECTION OPPOSÉE

DES TIGES ET DES RACINES [1].

§ I. — *De la direction des tiges vers le ciel et des racines vers la terre.*

Les phénomènes les plus généraux de la nature, ceux qu'elle présente sans cesse à nos yeux, sont en général ceux que la plupart des hommes remarquent le moins. Celui qui n'a point appris à méditer sur les phénomènes naturels, a peine à se persuader, par exemple, qu'il existe un mystère dans l'ascension des tiges des végétaux, et dans la progression descendante de leurs racines. Ce phénomène, cependant, est un des plus curieux parmi ceux que nous offre la vie végétale. Le mouvement descendant des racines paraîtra facile à expliquer pour la plupart des esprits : elles tendent, dira-t-on, comme tous les autres corps, vers le centre de la terre, en vertu des lois connues de la pesanteur; mais comment expliquera-t-on l'ascension verticale des tiges, qui est en opposition manifeste avec ces lois? C'est ici qu'ont échoué ceux qui ont tenté d'expliquer ce phénomène. Dodart [2], le premier, à ce qu'il paraît, qui ait recueilli quelques observations sur ce sujet, prétend expliquer le retournement de la radicule et de la plumule dans les graines semées *à contresens*, par l'hypothèse suivante : il admet que la racine est composée de parties qui se contractent par l'effet de l'humidité, et que les parties de la tige, au contraire, se contractent par l'effet de la sécheresse. Il doit en résulter, selon lui, que, dans la graine semée à contresens, la radicule tournée vers le ciel se contracte et s'incline vers la terre, siége de l'humidité; tandis que la plumule, au contraire, se contracte et se tourne du côté du ciel, ou plutôt de l'atmosphère, milieu plus sec ou moins humide que ne l'est la terre. On connaît les expériences de Duhamel, et les tentatives qu'il a faites pour contraindre des graines à pousser leur radicule en haut, et leur plumule en bas, en les enfermant dans des tubes qui ne permettaient pas le retournement de ces parties; ne pouvant obéir à leurs tendances naturelles, la radicule et la plumule se contournèrent en spirale. Ces expériences prouvent que les tendances opposées de la radicule et de la plumule ne peuvent être interverties, mais elles nous laissent dans une ignorance complète de la cause à laquelle sont dues ces tendances. Les tiges pour se développer ont besoin d'être placées dans le sein

[1] Les observations contenues dans ce mémoire ont été publiées à diverses époques, savoir, en 1824 en 1828 et en 1833.

[2] Sur la perpendicularité des tiges par rapport à l'horizon. (Mémoires de l'Académie des Sciences, 1700).

de l'atmosphère ; les racines au contraire ont besoin de se trouver dans le sein de la terre : existerait-il une tendance entre l'atmosphère et la tige, entre la terre humide et la racine, tendance de laquelle résulterait l'ascension de la tige, et le mouvement descendant de la racine? C'est à l'observation à éclaircir les doutes sur ces différents objets.

J'ai rempli de terre une boîte dont le fond était percé de plusieurs trous; j'ai placé des graines de haricot (*phaseolus vulgaris*) dans ces trous, et j'ai suspendu la boîte en plein air à une élévation de six mètres. De cette manière les graines, placées dans les trous pratiqués à la face inférieure de la boîte, recevaient de bas en haut l'influence de l'atmosphère et de la lumière : la terre humide se trouvait placée au-dessus d'elles. Si la cause de la direction de la plumule et de la radicule existait dans une tendance de ces parties pour la terre humide et pour l'atmosphère, on devait voir la radicule monter dans la terre placée au-dessus d'elle, et la tige au contraire descendre vers l'atmosphère placée au-dessous ; c'est ce qui n'eut point lieu. Les radicules des graines descendirent dans l'atmosphère, où elles se desséchèrent bientôt; les plumules, au contraire, se dirigèrent en haut dans l'intérieur de la terre. Je plaçai verticalement en haut la pointe de la radicule de quelques-unes de ces graines germées, en les enfonçant dans les trous dont il vient d'être question; ces radicules, au lieu de se diriger vers la masse de terre humide placée au-dessus d'elles, se courbèrent en bas. Je voulus voir si une grande masse de terre, placée au-dessus des graines, exercerait plus d'influence sur la direction de leurs radicules. Je fixai donc des graines de haricot au plancher d'une excavation qui était recouverte d'environ six mètres de terre, et je les y maintins dans de la terre humide par des moyens appropriés. Les résultats de cette seconde expérience ne furent point différents de ceux de la première.

Ces expériences prouvent que ce n'est point vers la terre humide que se dirige la radicule, et que ce n'est point vers l'atmosphère que se dirige la plumule. Ces deux parties se dirigent toujours l'une vers le centre de la terre, l'autre dans une direction opposée. Quoiqu'il paraisse résulter des expériences précédentes que la radicule des embryons séminaux ne possède aucune tendance spéciale vers les corps humides, on pourrait cependant penser que, dans les expériences dont il s'agit, la tendance de la radicule vers le centre de la terre étant plus forte que la tendance supposée de cette même radicule vers les corps humides, cette dernière tendance n'aurait pas pu se manifester. J'ai vu s'évanouir ce soupçon par l'expérience suivante : j'ai suspendu dans un bocal une petite soucoupe que j'ai remplie d'eau, et dans laquelle j'ai placé une éponge taillée et placée de manière à présenter une face plane verticale; ensuite, au moyen d'un fil de fer fixé au couvercle du bocal, j'ai suspendu dans l'intérieur de ce dernier une fève nouvellement germée, ayant soin de placer la radicule aussi près qu'il était possible de la face verticale de l'éponge sans la toucher. De cette manière le corps humide était placé latéralement par rapport à la radicule, et comme il n'y avait point d'eau au fond du bocal, et que la face verticale de l'éponge dépassait un peu le bord de la soucoupe qui la contenait, il en résultait que la radicule, si elle avait une tendance vers l'humidité, devait se courber latéralement pour se diriger vers l'éponge qui l'avoisinait; car il n'y avait point d'eau ni de corps humide de tout autre côté. Au reste, l'air de l'intérieur du bocal se trouvant saturé d'eau, et la radicule étant extrêmement rapprochée de l'éponge mouillée, cela non-seulement empêchait cette radicule de se flétrir, mais fournissait à son absorption une quantité d'eau suffisante pour suffire à son développement et même à la production de nouvelles racines latérales. Cette expérience donna les résultats suivants : la radicule ne manifesta aucune tendance vers l'éponge imbibée d'eau; les racines latérales qu'elle produisit du côté de l'éponge pénétrèrent dans les cellules

de cette dernière; mais les autres racines latérales qui prirent naissance dans les autres points de la surface de la radicule ne manifestèrent aucune tendance vers l'éponge, quoique plusieurs de ces racines latérales prissent leur origine très-près de ce corps mouillé. Il résulte de ces diverses expériences que les racines n'ont aucune tendance vers les corps humides, et que, par conséquent, cette cause n'est point une de celles qui déterminent la direction des racines vers la terre. Il est probable que les tiges n'ont pas plus de tendance spéciale vers l'air atmosphérique, que les racines n'en ont vers l'eau, mais on ne peut guère s'en assurer par l'expérience.

Les divers essais tentés pour donner l'explication de la tendance inverse des tiges et des racines étant demeurés infructueux, il a été libre à chacun de donner sur ce point un champ libre à son imagination : on a pensé, par exemple, que la direction de la racine vers la terre, et de la tige vers le ciel, serait le résultat d'une sorte de *polarité* analogue à celle qui dirige les deux pôles de l'aiguille aimantée vers les pôles opposés de la terre. J'ai moi-même autrefois penché vers cette opinion, qui est encore partagée par certains auteurs en Allemagne et en France. Si cette polarité existait chez les végétaux, le sommet de la tige tendrait constamment vers le ciel et la pointe de la racine tendrait constamment vers la terre; or, c'est ce qui n'a point toujours lieu. Il y a des tiges qui se dirigent vers la terre comme des racines : telles sont les tiges naissantes de beaucoup de végétaux aquatiques, tels que le *sagittaria sagittifolia*, le *sparganium erectum*, le *typha latifolia*, les *carex*, etc., etc. Ces tiges, à leur naissance, courbent leur pointe vers la terre, et cela avec tant de force qu'elles percent toute l'épaisseur des feuilles engaînantes qui les recouvrent; elles s'enfoncent dans la vase où elles forment des tiges souterraines qui habitent le même milieu que les racines dont elles affectent la direction. Les racines, de leur côté, ne sont pas toujours descendantes, on les voit quelquefois monter vers le ciel; c'est, par exemple, ce que j'ai observé dans les racines produites sur la tige du *pothos crassinervia* et du *cactus phyllantus*. Ainsi la qualité de tige et de racine ne suffit point pour déterminer l'ascension de l'une et la descente de l'autre; il n'y a donc point là de *polarité*. D'ailleurs, la double tendance qui résulte de la polarité appartient à toutes les parties dans lesquelles le corps qui possède cette polarité peut être divisé. C'est ainsi qu'une aiguille aimantée, brisée en deux moitiés, forme sur-le-champ deux aiguilles aimantées pourvues de leurs pôles opposés. Or, dans une tige séparée de la racine, il n'existe plus de double tendance, c'est toujours sa partie demeurée libre et mobile qui se dirige vers le ciel, ainsi que le prouve l'expérience suivante, qui appartient à Bonnet [1], et que j'ai répétée. J'ai enfoncé le sommet d'une tige de *mercurialis annua* dans une fiole pleine d'eau, puis j'ai courbé cette tige vers le corps de la fiole au col de laquelle je l'ai fixée avec une ligature; de cette manière, la partie inférieure de la tige se trouvait dans la position naturelle, c'est-à-dire dans la position verticale, et sa vie pouvait être entretenue par l'eau qu'absorbait la partie supérieure de cette même tige qui était plongée dans l'eau; bientôt je vis la partie inférieure de cette tige se courber et se diriger vers le ciel. Ce fait prouve bien évidemment que la tendance vers le ciel n'appartient point exclusivement au sommet de la tige, puisque la base de la tige la possède également : il suffit, par conséquent, qu'une partie de tige soit libre et mobile pour qu'elle tende à se diriger vers le ciel. L'expérience suivante achève de prouver cette assertion. J'ai couché sur le sol une tige d'*allium porrum*; et, dans cette position couchée, je l'ai courbée en arc; j'ai fixé solidement au sol les deux extrémités de l'arc, dont le milieu demeurait libre et mobile. Bientôt cet arc horizontal est devenu vertical par le redressement de ses deux moitiés fixées au sol.

[1] Recherches sur l'usage des feuilles.

La lumière influe puissamment sur la direction des tiges : ainsi une plante placée dans un lieu éclairé par une seule fenêtre dirige sa tige vers cette ouverture qui lui transmet la lumière. On pourrait donc penser que la direction de la tige vers le ciel serait exclusivement le résultat de la tendance de cette tige vers la lumière, qui arrive du ciel de toutes parts par la réflexion des nuages et de l'atmosphère. L'expérience suivante dissipe tous les doutes à cet égard. J'ai fait germer des graines dans la plus parfaite obscurité, en couvrant le vase qui les contenait avec un récipient opaque, autour de la base duquel j'accumulai de la sciure de bois; les tiges se sont dirigées vers le ciel et les racines vers la terre comme à l'ordinaire. La direction spéciale de ces parties opposées reconnaît donc bien certainement pour cause occasionnelle l'action de la pesanteur, seule cause connue qui agisse sur le globe dans le sens vertical. L'influence de la lumière agit sur les tiges comme cause occasionnelle accessoire pour déterminer leur ascension, ainsi que le prouvent les expériences suivantes. J'ai arraché avec leurs bulbes plusieurs tiges d'*allium porrum* et d'*allium cepa*. Ces tiges, pourvues d'une séve dense et visqueuse, conservent longtemps leur vitalité, même dans le lieu le plus sec. J'ai couché quelques-unes de ces tiges en plein air, en les fixant au sol par leur partie inférieure; j'ai couché, de la même manière, d'autres tiges semblables dans un lieu sec et parfaitement obscur. Les premières ont achevé de diriger leur sommet vers le ciel au bout de trois jours, tandis que les secondes n'ont présenté le même résultat qu'au bout de dix jours. L'influence de la lumière, comme cause occasionnelle accessoire à la pesanteur pour déterminer l'ascension des tiges, se manifeste évidemment dans cette expérience. On pourrait penser qu'une tige couchée sur le sol y absorbe de l'humidité qui gonfle son tissu dans sa partie latérale qui touche la terre, tandis que la partie latérale opposée, soumise spécialement à l'action de l'évaporation, perdrait une partie de sa turgescence aqueuse, ce qui déterminerait la courbure de cette tige et la direction de sa partie mobile vers le ciel. Cette hypothèse échoue devant l'observation que j'ai faite, que les tiges se redressent vers le ciel, même lorsqu'elles sont entièrement couvertes d'eau, et cela a lieu dans l'obscurité comme à la lumière.

M. Knight, cet ingénieux observateur auquel la physiologie végétale doit tant de vues neuves et heureuses, a essayé d'expliquer le phénomène de l'ascension des tiges et de la descente des racines. Voici l'exposé sommaire de sa théorie [1].

On sait que les racines ne croissent en longueur que par leur pointe, tandis que les tiges croissent en longueur par leur sommet et par l'allongement de leurs mérithalles; ce sont ces deux modes d'élongation que j'ai nommés l'un *élongation terminale*, l'autre *élongation intermédiaire*. M. Knight pense que lorsqu'une tige est couchée horizontalement, la séve se précipite vers le côté qui se trouve inférieur, où elle se trouve ainsi en plus grande abondance que dans le côté qui se trouve supérieur. Cette plus grande abondance de la séve nourricière dans le côté inférieur, détermine dans ce côté une *élongation intermédiaire* plus rapide et plus considérable que dans le côté supérieur. Dès lors, la tige se courbe de manière à ce que sa convexité est en bas, et il en résulte que le sommet libre de la tige est dirigé en haut. La racine, ne possédant point d'*élongation intermédiaire*, n'est point déterminée comme la tige à se courber vers le ciel. Lorsque cette racine est verticale, elle tend à s'accroître dans cette direction, parce que son élongation ne s'opère qu'à l'aide de la matière organisée qui est ajoutée successivement à sa pointe. Cette théorie explique d'une manière très-plausible la direction des tiges vers le ciel et leur retournement lorsqu'elles n'ont pas cette direction; elle ex-

[1] On the direction of the radicle and germen, etc., Philosophical Transactions, 1806.

plique également l'accroissement descendant des racines lorsqu'elles sont placées la pointe en bas; elle explique pourquoi les racines ne tendent point vers le ciel, mais elle n'explique point du tout pourquoi, une racine nouvellement produite étant placée horizontalement sur le sol, elle se courbe pour diriger sa pointe en bas. En outre, la théorie de M. Knight échoue complétement devant l'existence de ces faits bien constatés qu'il existe des tiges qui se dirigent vers la terre et des racines qui se dirigent vers le ciel. En outre, il est une foule de circonstances où les racines croissent horizontalement dans le sol et où les branches des arbres ont dans l'atmosphère une direction horizontale et même quelquefois descendante. Ces considérations prouvent que la théorie de M. Knight ne peut être admise; toutefois on va voir que, dans cette circonstance, M. Knight s'est approché de la vérité autant que pouvaient le permettre les connaissances physiques alors existantes.

Lorsque j'eus fait la découverte du phénomène de l'endosmose, je ne tardai pas à pressentir les applications que l'on pouvait faire de ce nouveau phénomène physique à l'explication des phénomènes de flexion que présentent, dans certains cas, les caudex végétaux et notamment à l'explication des flexions en sens inverses que prennent les tiges et les racines sous l'influence de la pesanteur. Je vis, en effet, que les tiges et les racines possèdent, sous un certain point de vue, une organisation inverse, et que de là devaient résulter des tendances à la flexion dans des directions opposées par l'effet de la puissance de l'endosmose. J'ai démontré, dans mes *Recherches sur l'accroissement des végétaux,* que le végétal est composé de deux systèmes concentriques, le système cortical et le système central, et que ces deux systèmes sont composés de parties semblables ou analogues, disposées en sens inverses. Dans le système central, la moelle ou médulle centrale occupe le centre; dans le système cortical, le parenchyme ou médulle corticale occupe la circonférence. Ce sont ces deux médulles qui composent essentiellement l'organisation de la tige naissante et de la radicule des embryons séminaux lors de leur germination. Ces deux caudex, l'un ascendant et l'autre descendant, sont essentiellement cellulaires dans le principe; le tissu fibreux est encore rudimentaire chez eux. On sait que ce que l'on nomme généralement la *radicule* chez les embryons séminaux, n'est point une racine dans son entier. C'est en grande partie la *tigelle,* ou le premier mérithalle de la jeune plante qui forme ce caudex descendant, ainsi que M. Turpin l'a fait voir le premier et ainsi que je l'ai exposé dans le III[e] mémoire (page 88). Or, l'observation apprend que dans la tige naissante composée des mérithalles qui suivent le premier et qui est ascendante, la médulle centrale l'emporte en volume sur la médulle corticale, comme on le voit dans la figure 2 (planche 17) qui représente la coupe transversale de la tige naissante ou du caudex ascendant du haricot. Chez le caudex descendant, au contraire, caudex qui est composé de la tigelle et de la racine naissante, la médulle corticale l'emporte en volume sur la médulle centrale, comme on le voit dans la figure 1 (planche 17) qui représente la coupe transversale de la *radicule* du haricot. Cette prédomination inverse des deux médulles corticale et centrale dans le caudex descendant et dans le caudex ascendant des embryons séminaux, est un premier fait qu'il faut noter.

Les deux médulles centrale et corticale sont composées de cellules ou d'utricules agglomérées et remplies par un liquide dense. Or, une disposition organique très-importante de ces deux médulles, disposition qui n'avait point été notée avant moi, est celle-ci : dans la médulle centrale, les cellules, grandes au centre, vont en décroissant de grandeur vers le dehors; dans la médulle corticale, on observe deux ordres inverses de décroissement de grandeur dans l'assemblage des cellules composantes, ainsi que je l'ai déjà exposé dans le III[e] mémoire (page 85). Dans un point quelconque de

l'épaisseur de cette médulle corticale, se trouvent les cellules les plus grandes. A partir de ce point, ces cellules vont en décroissant de grandeur vers le dehors et vers le dedans. Or, dans la *radicule* ou plutôt dans le caudex descendant (figure 1, planche 17), le point où se trouvent les plus grandes cellules de la médulle corticale est fort rapproché de l'enveloppe tégumentaire, en sorte que la couche des cellules qui décroissent de grandeur vers le dehors est presque nulle, tandis que la couche des cellules qui décroissent de grandeur vers le dedans, occupe à peu près toute l'épaisseur de l'écorce. Cette disposition ne souffre aucune exception chez les caudex descendants des végétaux; il n'en est pas de même chez les caudex ascendants ou chez les tiges; tantôt on voit prédominer dans leur médulle corticale la couche cellulaire dont les cellules décroissent de grandeur du dedans vers le dehors, ainsi que cela a lieu dans la tige du haricot (figure 2, planche 17); tantôt, et c'est le cas le plus général, on voit prédominer dans cette médulle corticale la couche cellulaire dont les cellules décroissent de grandeur du dehors vers le dedans, comme cela se voit dans la figure 4 (planche 18), qui représente la coupe transversale de la tige du *phytolacca decandra*. Cette dernière organisation de la médulle corticale des jeunes tiges est, je le répète, presque générale; l'organisation de cette médulle corticale des tiges, telle qu'elle est représentée par la figure 2 (planche 17), appartient spécialement aux *tiges grimpantes*, ainsi que je le ferai voir dans le mémoire XIII.

Le décroissement de grandeur des cellules de la médulle centrale du centre vers la circonférence, est un fait général dont on peut facilement constater l'existence même chez les tiges fistuleuses. Chez ces dernières, la moelle forme les parois du canal central, et les cellules composantes offrent comme à l'ordinaire une grandeur décroissante de dedans en dehors. Je citerai ici le pissenlit (*leodonton taraxacum*) comme l'une des plantes herbacées chez lesquelles cette disposition est le plus facile à observer. La tige ou hampe de ce végétal est fistuleuse; son canal médian occupe le centre de la médulle centrale, qui, blanche et diaphane, forme les parois immédiates de ce canal. En dehors existe le système cortical, dont l'épaisseur est moindre, qui est de couleur verte, et contient les vaisseaux du suc laiteux. Une tranche mince et longitudinale de cette tige étant soumise au microscope, on voit avec la plus grande facilité le décroissement des cellules de dedans en dehors. Le système cortical de la tige du pissenlit est si mince, qu'il n'est guère possible de voir l'ordre de décroissement des cellules dont il est composé.

Il résulte de ces observations que la moelle ou médulle centrale est toujours composée de cellules décroissantes de grandeur du dedans vers le dehors, et que la médulle corticale est composée d'une couche extérieure de cellules décroissantes de grandeur du dedans vers le dehors, et d'une couche intérieure de cellules décroissantes de grandeur du dehors vers le dedans, et que c'est cette dernière couche qui toujours est prédominante dans les racines et qui, dans le plus grand nombre des cas, est également prédominante dans les tiges. On peut donc faire momentanément abstraction de la disposition inverse qui s'observe dans la médulle corticale des tiges grimpantes, et admettre qu'en général la médulle centrale et la médulle corticale offrent un décroissement en sens inverse dans la grandeur de leurs cellules, la médulle centrale offrant toujours ce décroissement du dedans vers le dehors et la médulle corticale offrant le plus souvent ce décroissement du dehors vers le dedans. Il résulte de cette organisation inverse du système central et du système cortical, que ces deux systèmes étant isolés et divisés en lanières longitudinales, ces lanières, quand elles appartiennent au système cortical, doivent tendre à se courber en dedans; et quand elles appartiennent au système central, doivent tendre à se courber en dehors. C'est effecti-

vement ce que l'expérience démontre. Une lanière longitudinale d'écorce, prise sur une plante herbacée ou sur une branche très-jeune d'un végétal ligneux, étant plongée dans l'eau, se courbe en dedans. Si on la plonge ensuite dans le sirop de sucre, elle se courbe en dehors. Pour que cette expérience réussisse bien, il faut, chez les végétaux ligneux, enlever l'épiderme qui s'opposerait à la prompte et facile absorption de l'eau par la partie qu'il recouvre. Au contraire, une lanière longitudinale du système central, prise sur une plante herbacée ou sur une branche très-jeune de ce végétal ligneux, étant plongée dans l'eau, se courbe en dehors; transportée dans le sirop de sucre, elle se courbe en dedans. Les mêmes phénomènes s'observent sur le système cortical et sur le système central des racines. Ainsi, les tiges et les racines se ressemblent exactement sous le point de vue de ce phénomène physiologique, et par conséquent sous le point de vue de la disposition organique à laquelle ce phénomène est dû. Il résulte de ces observations, que les médulles corticale et centrale ont une tendance à l'incurvation dans des sens diamétralement opposés. Or, comme ces deux systèmes sont cylindriques, et que les parties diamétralement opposées de chaque cylindre tendent à l'incurvation, toutes les deux en dedans, ou toutes les deux en dehors avec une même force, il en résulte que le caudex végétal conserve sa rectitude; elle est le résultat de l'équilibre parfait de toutes les tendances concentriques à l'incurvation. Les expériences rapportées dans le IX[e] mémoire prouvent que cette incurvation dépend : 1° de la grandeur décroissante de leurs cellules composantes, qui offrent d'un côté de la *capacité en plus*, et de l'autre côté de la *capacité en moins*; 2° de ce que ces cellules contenant un liquide organique d'une densité quelconque, elles exercent l'endosmose implétive lors de l'accession de l'eau, et l'endosmose déplétive lors de l'accession extérieure d'un liquide plus dense que celui qu'elles contiennent. Ainsi, d'une part *capacité en plus* et *capacité en moins* des cellules, et d'une autre part, *densité en plus* et *densité en moins* des deux liquides intérieur et extérieur. Voilà les conditions fondamentales des incurvations spontanées qu'affectent les caudex ascendants et descendants des embryons séminaux. Ces caudex possèdent dans leurs médulles corticale et centrale des organes de mouvement en action d'incurvation permanente, et que l'équilibre parfait de leur antagonisme circulaire condamne au repos dans l'état naturel; mais qu'une cause quelconque vienne à rompre cet équilibre ou cette égalité parfaite d'action d'incurvation, à l'instant les caudex végétaux se courberont dans le sens déterminé par l'action d'incurvation de celui de leurs côtés dont la force sera prépondérante. Il ne s'agit donc que de déterminer les causes particulières qui, en détruisant l'équilibre auquel les caudex végétaux doivent leur situation immobile, les détermine à se courber pour affecter des directions spéciales.

La prédomination de l'incurvation en un sens déterminé, dans une tige ou dans une racine, atteste nécessairement la rupture de l'équilibre qui primitivement maintenait chacun de ces caudex dans la rectitude, par l'égalité des tendances concentriques à l'incurvation. Le moyen le plus simple de rompre cet équilibre est de fendre en deux, longitudinalement, chacun de ces caudex. Je fais cette opération sur une tige et sur une racine de plante nouvellement germée. Considérons séparément ici la tige et la racine. La tige offre une prédomination du système central sur le système cortical; ces deux systèmes tendent à se courber en sens inverse : or, dans la moitié de la tige, il y aura une forte tendance du système central à se courber en dehors et une tendance plus faible du système cortical à se courber en dedans, en raison de la prédomination de masse du premier de ces systèmes. Si donc l'on plonge cette moitié de tige dans l'eau, elle se courbera en dehors par l'effet de l'endosmose implétive et avec une force qui sera égale à l'excès de la tendance à l'incurvation en dehors du système

central sur la tendance à l'incurvation en dedans du système cortical. Si l'on transporte cette moitié de tige dans le sirop de sucre, elle perdra sa courbure en dehors et se courbera en dedans, par l'effet de l'endosmose déplétive. (Voy. page 19.)

La même expérience, faite sur la moitié de racine fendue longitudinalement, donne des résultats inverses. La racine offre une prédomination du système cortical sur le système central; par conséquent la tendance du système cortical à se courber en dedans l'emportera sur la tendance du système central à se courber en dehors; et la moitié de racine étant plongée dans l'eau, se courbera en dedans avec une force égale à l'excès de la tendance du système cortical à se courber en dedans, sur la tendance du système central à se courber en dehors : cet effet sera dû à l'endosmose implétive. Si l'on transporte cette moitié de racine dans le sirop de sucre, elle perdra sa courbure en dedans, et prendra une courbure en dehors par l'effet de l'endosmose déplétive.

Nulle tige ne manifeste avec plus d'énergie les tendances à l'incurvation dont il vient d'être question, que la tige ou hampe du pissenlit. Une lanière longitudinale de cette tige fistuleuse étant plongée dans l'eau, se roule en dehors sous forme d'une spirale très-serrée. Cette incurvation en dehors a lieu également sans plonger la lanière de tige dans l'eau; mais cette incurvation est bien moins profonde. Si l'on transporte cette lanière de l'eau dans le sirop de sucre, elle perd sa position roulée en dehors, se redresse, et se roule en spirale en dedans. Cette incurvation en dedans est le résultat de la déplétion générale des cellules par l'effet de l'endosmose déplétive. Cela se voit de la manière la plus facile, en soumettant au microscope une petite lanière de tige de pissenlit plongée dans du sirop. On voit ses cellules composantes, et spécialement les plus grandes, qui sont situées à la partie intérieure, se vider et devenir plus petites. Si on laisse une tige de pissenlit se flétrir un peu avant de la diviser en lanières longitudinales, ces lanières ne se courberont point en dehors dans l'air, comme cela a lieu pour ces mêmes lanières lorsqu'elles appartiennent à une plante fraîche, c'est-à-dire qui contient beaucoup de séve lymphatique. C'est donc l'accession de cette séve lymphatique sur les cellules remplies d'un liquide dense, qui, dans l'état naturel, provoque l'endosmose implétive de ces cellules, et par suite l'incurvation du tissu qu'elles forment par leur assemblage. Ces lanières à demi flétries sont dans l'état de flaccidité. Si on les plonge dans l'eau, elles reprennent, par l'accession de ce liquide, leur tendance à l'incurvation en dehors. Ainsi, on voit que l'incurvabilité exige, ici, pour son exercice, l'accession d'un liquide extérieur sur les cellules qui composent le tissu incurvable, et que ce liquide extérieur est la séve lymphatique, lorsque l'incurvation a lieu par endosmose implétive.

On vient de voir que l'incurvation inverse des moitiés longitudinales de tige et de racine est le résultat du défaut d'équilibre qui existe entre les tendances inverses à l'incurvation des systèmes cortical et central de chacune de ces moitiés de caudex végétal. Ceci conduit à la connaissance de la cause qui détermine les tiges et les racines à se courber dans leur entier en sens opposé, sous l'influence de la pesanteur.

J'ai couché horizontalement une tige ou hampe de pissenlit, et je l'ai maintenue dans cette position au moyen d'un poids placé sur la moitié de sa longueur. Au bout de vingt-quatre heures, la tige couchée s'était redressée et dirigée vers le ciel, en se courbant dans le voisinage de l'obstacle. Je détachai cette tige du sol, j'en retranchai les parties qui avaient conservé leur rectitude. Je ne voulais étudier que la partie courbée. Je fendis longitudinalement cette partie courbée en deux, en suivant le sens de la courbure; j'obtins de cette manière deux moitiés de tige courbées, l'une *aa* (fig. 3, pl. 17) dont l'épiderme occupait la concavité dirigée dans l'état naturel vers le ciel, l'autre *bb* dont l'épiderme occupait la convexité dirigée dans l'état naturel vers la terre. Ainsi, la première, ou celle d'en haut, était courbée

en dehors, et la seconde, ou celle d'en bas, était courbée en dedans. Or, il arriva que la première *aa* augmenta son incurvation en dehors, et que la seconde *bb* perdit une partie de son incurvation en dedans, et tendit à se redresser. Ce phénomène devient encore plus sensible en retranchant deux lanières latérales à chacune de ces deux moitiés de tige fistuleuse, et en ne conservant ainsi qu'une seule lanière médiane pour chacune de ces moitiés. La lanière médiane de la portion supérieure *aa* se courba plus fortement en dehors, la lanière médiane de la portion inférieure *bb* se redressa complétement. Cette observation prouve que la moitié inférieure *bb* était courbée en dedans *malgré elle*, ou dans le sens opposé à celui de sa tendance naturelle à l'incurvation. Étant abandonnée à elle-même par sa séparation de la moitié supérieure *aa*, elle tendait au redressement et à l'incurvation en dehors, qui était le sens naturel de sa tendance, mais cette tendance natu elle à l'incurvation en dehors était affaiblie; elle n'était pas, à beaucoup près, aussi énergique que celle de la portion supérieure *aa*. Ainsi, dans la plante vivante et sur pied, les deux moitiés longitudinales de tige *aa* et *bb* tendaient toutes les deux à l'incurvation en dehors, comme c'est l'ordinaire. Mais cette tendance à l'incurvation en dehors étant affaiblie dans la moitié longitudinale inférieure *bb*, et la moitié longitudinale supérieure *aa* ayant conservé sa tendance à l'incurvation en dehors dans toute son intégrité, il est résulté de cette rupture d'équilibre, que la moitié de tige supérieure *aa*, par sa prédomination d'action d'incurvation en dehors, a courbé la tige tout entière dans le sens d'incurvation qui lui est propre. La moitié de tige inférieure *bb* ayant une action d'incurvation en dehors moindre, a été vaincue et entraînée *malgré elle* dans un état de courbure contraire à celui qui résulte de sa tendance naturelle. Ainsi, la courbure que prend une tige couchée horizontalement, pour diriger son sommet vers le ciel, dépend de la rupture de l'équilibre ou de l'égalité d'action d'incurvation en dehors dans ses deux moitiés longitudinales supérieure et inférieure. Cette dernière qui regarde la terre, étant affaiblie, et son antagoniste, qui regarde le ciel, ayant conservé toute sa force, la tige tout entière est courbée dans le sens d'incurvation en dehors et en haut, qui est propre au côté vainqueur, et le sommet de la tige se trouve ainsi dirigé vers le ciel. Je passe actuellement à la cause de la direction des racines vers la terre.

J'ai pris un haricot germé, dont la radicule, parfaitement droite, avait acquis une longueur d'environ un pouce. Je donnai à cette radicule une position horizontale, et bientôt elle se courba pour diriger sa pointe vers la terre. Je détachai cette racine courbée, et je la fendis longitudinalement en deux, en suivant le sens de la courbure. J'obtins, de cette manière, deux moitiés de racine courbées, l'une *aa* (fig. 4, pl. 17), dont l'épiderme occupait la convexité, dirigée, dans l'état naturel, vers le ciel; l'autre *bb*, dont l'épiderme occupait la concavité, dirigée, dans l'état naturel, vers la terre. Ainsi, la première, ou celle d'en haut, était courbée en dedans, et la seconde, ou celle d'en bas, était courbée en dehors. Ayant plongé ces deux moitiés de racine dans l'eau, la moitié supérieure *aa* augmenta sa courbure; la moitié inférieure *bb*, au contraire, perdit la sienne et se redressa. Par conséquent, dans cette circonstance, la moitié inférieure *bb* était courbée en dehors, *malgré elle*, ou dans le sens contraire à celui de sa tendance naturelle à l'incurvation, tendance qui, chez les racines, a lieu *en dedans*, ainsi qu'on l'a vu plus haut. Cependant, cette moitié longitudinale de racine *bb*, plongée dans l'eau, ne fit que perdre sa position forcément courbée en dehors, elle atteignit la rectitude sans se courber en dedans, comme cela a lieu ordinairement. Cette moitié longitudinale inférieure *bb* a donc perdu une partie de sa tendance à l'incurvation en dedans : cette tendance est affaiblie; or, comme cette même tendance naturelle à l'incurvation en dedans existe dans toute son intégrité chez la moitié longitudinale supérieure *aa*, il résulte de cette rupture d'équilibre, ou

de cette inégalité de force d'incurvation en dedans, dans les deux côtés supérieur *aa* et inférieur *bb*, que ce dernier est vaincu par la prédomination de force d'incurvation, en dedans et en bas de son côté antagoniste *aa* : de cette manière, la pointe de la racine se trouve ramenée vers la terre.

Une conclusion importante se déduit de ces deux observations. Dans la tige courbée (figure 3), comme dans la racine courbée (figure 4), c'est toujours le côté supérieur *aa* qui est vainqueur du côté inférieur *bb*, et qui lui imprime de force le mode de courbure qui lui est propre. Cette prédomination d'action d'incurvation du côté supérieur *aa* provient, dans la tige comme dans la racine, de l'affaiblissement de l'action d'incurvation dans le côté inférieur *bb*. Quelle est donc la cause qui, dans une tige ou dans une racine couchée horizontalement, affaiblit la tendance à l'incurvation qui est propre au côté de de cette tige ou de cette racine qui regarde la terre ? C'est encore l'expérience qui va résoudre ce dernier problème. Reportons-nous d'abord aux connaissances précédemment acquises. Nous savons que la force d'incurvation est proportionnelle à la force de l'endosmose des cellules qui composent le tissu incurvable ; par conséquent, l'affaiblissement de cette force d'incurvation provient de l'affaiblissement de l'endosmose. Il s'agit donc de déterminer quelle est, dans cette circonstance, la cause de l'affaiblissement de l'endosmose implétive. Cet affaiblissement peut avoir lieu de trois manières : 1° par le défaut d'accession de la séve lymphatique en qualité suffisante ; 2° par la diminution de densité du liquide intérieur des cellules ; 3° par l'augmentation de densité de la séve lymphatique, qui est ici le liquide extérieur aux cellules. Il n'existe aucune raison pour qu'il y ait une diminution dans la quantité de séve lymphatique que reçoit la partie latérale inférieure des caudex végétaux, couchés horizontalement ; il n'existe, de même, aucune raison pour que le liquide intérieur des cellules composantes de cette même partie latérale inférieure éprouve de la diminution dans sa densité par l'effet de la pesanteur. L'exclusion de ces deux premières manières dont peut avoir lieu l'affaiblissement de l'endosmose implétive, met dans la nécessité d'adopter la troisième, et on va voir cette adoption confirmée et légitimée par l'expérience. Lorsque deux liquides, imparfaitement mêlés, sont réunis dans un même vase, le plus dense se précipite vers la partie inférieure, et le moins dense occupe la partie supérieure. Or, la séve lymphatique n'est point un liquide homogène et partout le même ; lors de son introduction dans le végétal, ce n'est que de l'eau pure ; cette eau acquiert peu à peu une densité plus considérable, par la dissolution qu'elle opère des liquides organiques. Ce fait est bien prouvé par les expériences de M. Knight. Lorsqu'un caudex végétal est couché horizontalement, la séve la plus dense doit se précipiter vers le côté qui regarde la terre ; la séve la plus aqueuse, et par conséquent la plus légère, doit demeurer dans le côté qui regarde le ciel.

Cette induction rationnelle est pleinement confirmée par l'expérience. Je pris de jeunes tiges de bourrache dont j'avais sollicité le redressement vers le ciel, en les maintenant courbées vers la terre. Je retranchai les parties droites de ces tiges, et ne conservai que les portions courbées. Je fendis en deux ces tiges courbées par une section longitudinale pratiquée dans le sens de la courbure, de la même manière que cela est présenté pour la tige du pissenlit, dans la fig. 3. Je plongeai ces deux moitiés de tige dans l'eau : elles se précipitèrent au fond, parce que leur pesanteur spécifique était plus considérable que celle de l'eau. Je les transportai dans de l'eau sucrée, suffisamment dense pour que ces deux moitiés de tige surnageassent ; alors j'ajoutai de l'eau peu à peu à la solution sucrée, et je diminuai ainsi sa densité d'une manière graduelle ; bientôt je vis la moitié de tige inférieure, c'est-à-dire celle qui, dans l'état naturel, était située du côté de la terre, se précipiter au fond du liquide, tandis que la moitié de tige supérieure continuait de surnager. J'ai répété cette expérience

plusieurs fois, et toujours avec le même résultat. Je dois faire observer ici que l'on ne doit faire cette expérience qu'avec des plantes dont la moelle est entièrement remplie de liquides, et ne contient point d'air du tout. Or, les jeunes tiges de bourrache remplissent parfaitement à cet égard les vues de l'expérimentateur; il faut avoir soin seulement qu'il ne reste point de bulles d'air adhérentes aux poils dont l'écorce de la plante est chargée. Ces expériences prouvent que la tige qui s'est courbée pour se redresser, offre une pesanteur spécifique plus grande dans sa moitié longitudinale inférieure que dans sa moitié longitudinale supérieure; celle-ci contient donc des liquides dont la densité est plus grande que ne l'est la densité des liquides contenus dans la moitié supérieure. Cette déduction est rigoureuse; car la matière solide du végétal, qui consiste tout entière dans les parois des cellules ou des tubes, n'est pas susceptible d'augmenter de pesanteur d'un instant à l'autre. La séve lymphatique, au contraire, peut devenir plus dense en très-peu de temps dans la partie latérale qui regarde la terre, chez une tige ou chez une racine placée horizontalement, parce que la pesanteur précipite nécessairement vers la partie inférieure la portion la plus dense ou la plus pesante de cette séve, dont la diffusion s'opère avec la plus grande facilité dans le tissu végétal. Les résultats de cette précipitation de la séve la plus dense, dans la partie latérale inférieure des caudex placés horizontalement, sont faciles à déduire. On a vu plus haut que l'accession extérieure de la séve lymphatique sur les cellules composantes du tissu cellulaire incurvable, est la cause de l'endosmose implétive de ces cellules, et par suite la cause de l'incurvation du tissu qu'elles composent. Or, plus ce liquide extérieur est dense, moins il y a de force d'endosmose implétive dans les cellules, moins par conséquent il y a de force d'incurvation. La partie latérale des caudex horizontaux qui regarde la terre, contenant une séve lymphatique plus dense que ne l'est celle que contient la partie latérale opposée qui regarde le ciel, il en résulte une rupture de l'équilibre qui existait antérieurement entre les tendances concentriques à l'incurvation. Le côté inférieur se trouve affaibli, le côté supérieur a conservé toute la force de sa tendance à l'incurvation; dès lors ce dernier, doué d'une force prédominante, entraîne son antagoniste vaincu dans le sens d'incurvation qui lui est propre. Ce sens propre de l'incurvation est en dehors pour la tige et en dedans pour la racine; par conséquent, dans la tige horizontale, le côté qui regarde le ciel se courbant en dehors, dirige le sommet de cette tige vers le ciel; et dans la racine horizontale, le côté qui regarde le ciel se courbant en dedans, dirige la pointe de cette racine vers la terre. Ces deux caudex opèrent ensuite leur élongation, selon les directions opposées dans lesquelles ils sont constamment maintenus par la cause qui les y a placées. Voilà tout le mystère de ces deux directions spéciales opposées l'une à l'autre. Il n'y a point, à proprement parler, de tendance de la tige vers le ciel, ni de tendance de la racine vers la terre; il n'existe dans ces caudex végétaux que des tendances à l'incurvation dans des sens diamétralement opposés, et qui sont mises en jeu par l'action de la pesanteur, ce qui fait que ces caudex végétaux affectent la direction verticale.

J'ai supposé, dans la théorie qui vient d'être exposée, que l'écorce de la tige tendait toujours à se courber *en dedans* lors de la turgescence de ses cellules composantes; cependant j'ai fait observer plus haut que chez certaines plantes et spécialement chez les plantes grimpantes, c'est l'inverse qui a lieu, leur écorce tend à se courber *en dehors,* et j'ai fait remarquer que cela tient à ce que la couche extérieure de leur médulle corticale, dont les cellules décroissent de grandeur du dedans vers le dehors, l'emporte en volume sur la couche intérieure de cette même médulle corticale dont les cellules décroissent de grandeur du dehors vers le dedans, ainsi que cela se voit dans la figure 2 (pl. 17) qui représente la coupe transversale de la tige nais-

sante du haricot. Ici l'incurvation *en dehors* du système cortical est congénère de l'incurvation également *en dehors* du système central, au lieu d'être son antagoniste ainsi que cela a lieu lorsque l'écorce tend à se courber en dedans; or, comme c'est exclusivement l'incurvation *en dehors* du système central qui dresse vers le ciel la tige couchée, lorsque le système cortical de cette tige tend à se courber *en dedans,* il en résulte qu'à bien plus forte raison une tige couchée se dressera vers le ciel lorsque ses deux systèmes cortical et central tendront à la fois à se courber en dehors, ainsi que cela a lieu dans la tige du haricot (fig 2. pl. 17). Alors l'incurvation du système cortical aide l'incurvation du système central pour redresser la tige, au lieu de lui faire obstacle et de déduire une partie de son effet, comme cela a lieu lorsque l'écorce tend à se courber *en dedans*.

Ce n'est pas seulement lorsque la racine et la tige sont horizontales, qu'elles se fléchissent pour se diriger, la première vers la terre, et la seconde vers le ciel. Le retournement de ces caudex végétaux a lieu également lorsqu'ils sont verticalement placés dans une position renversée, c'est-à-dire la racine en haut, et la tige en bas. Il semblerait que, dans cette circonstance, la théorie que je viens d'exposer ne serait point applicable, puisqu'il n'y aurait point de *côté* ou *de partie latérale inférieure* vers laquelle la séve la plus dense ait à se précipiter. Mais il ne faut pas perdre de vue que la rectitude mathématique n'appartient point aux caudex végétaux; il en résulte qu'il est impossible de donner à ces caudex renversés une position verticale dans le sens rigoureux et mathématique. J'ai expérimenté que lorsqu'on dirige vers le ciel des radicules de graines en germination, l'inflexion de ces radicules, pour se retourner, a toujours lieu du côté où elles ont une inclinaison, même la plus légère. La même chose a lieu pour les tiges; mais il est nécessaire de faire observer que ces expériences doivent être faites dans une obscurité complète, car la lumière possède sur les tiges une grande puissance pour opérer leur direction. Ainsi, c'est toujours la partie latérale la plus basse ou la plus voisine de la terre, qui, dans les caudex végétaux, perd une partie de la force de sa tendance naturelle à l'incurvation. Il n'est pas nécessaire pour cela que cette partie latérale soit placée horizontalement; la plus légère déviation de la position verticale suffit pour produire cet effet. On sent que s'il était possible qu'une radicule fût pourvue d'une force d'incurvation mathématiquement égale dans toutes ses parties latérales opposées, et qu'elle fût dirigée vers le ciel dans une position verticale mathématique, elle resterait dans cette position, n'y ayant aucune raison qui puisse la déterminer à opérer son inflexion d'un côté plutôt que d'un autre. Mais cette égalité mathématique dans les forces opposées qui animent les côtés opposés de la radicule n'existe point. Sa rectitude mathématique n'existe point non plus; par conséquent, sa position verticale mathématique est impossible; et quand bien même cette position serait possible, la radicule ne laisserait pas de trouver un moyen de commencement d'inflexion dans le défaut d'une égalité mathématique entre les forces d'incurvation de ses parties latérales opposées; et dès lors, l'action de la pesanteur agirait sur cette radicule fléchie, pour déterminer l'achèvement de son inflexion : le même raisonnement peut être fait par rapport à la tige.

Au reste, ce n'est que dans leur jeunesse, et tant qu'ils conservent leur flexibilité, que les caudex végétaux peuvent opérer leur retournement, qui devient impossible lorsqu'ils ont acquis de la dureté; aussi les arbres dont le bois est très-mou conservent plus longtemps que les autres cette propriété de se fléchir spontanément. J'ai vu un peuplier (*populus fastigiata*) de la grosseur du poignet, qui, placé accidentellement dans une position inclinée, se courba pour ramener la partie supérieure de sa tige à la position verticale; mais il fallut toute une période annuelle de végétation pour opérer cette inflexion.

Il y a des tiges qui dirigent leur sommet vers la terre comme des racines. Cela provient comme on va le voir de ce que, par anomalie, elles possèdent la même organisation que les racines.

Il est trois plantes chez lesquelles j'ai spécialement observé la direction du sommet des tiges naissantes vers le centre de la terre; ces plantes sont le *sagittaria sagittifolia*, *sparganium erectum*, et le *typha latifolia;* chez ces trois plantes aquatiques, les nouvelles tiges naissent, comme cela a toujours lieu, des bourgeons situés dans les aisselles des feuilles, et celles-ci, submergées par leur base, sont engaînantes. Si les nouvelles tiges avaient une tendance à monter vers le ciel, elles se développeraient en s'allongeant dans l'intervalle des deux feuilles engaînantes où se trouve situé le bourgeon, et cela avec d'autant plus de facilité qu'elles ne trouveraient là aucun obstacle à leur progression ascendante. Or, il n'en est point ainsi; la tige naissante, pointue et blanche comme une racine, au lieu de se diriger verticalement en haut, tend à diriger sa pointe vers la terre; pour prendre cette direction elle a un obstacle puissant à vaincre, c'est celui que lui opposent les feuilles engaînantes qui la recouvrent de dedans en dehors, feuilles qui sont souvent au nombre de deux ou de trois, et dont la base est assez épaisse et fort résistante. La pointe de la nouvelle tige perce de vive force, en se développant, ces feuilles engaînantes, et cela en se dirigeant peu à peu verticalement en bas, en sorte qu'elle s'enfonce dans le sol vaseux. J'ai étudié dans le IIIe mémoire (page 105) la structure de la pointe de ces tiges souterraines, et j'ai fait voir que cette pointe est composée de *piléoles* ou de petits cônes creux en forme d'éteignoir, qui se recouvrent les uns les autres, et qui sont les rudiments des feuilles de ces tiges souterraines. Or, en examinant au microscope la coupe transversale de chacune de ces *piléoles,* on voit que leur tissu est composé de cellules d'autant plus grandes que ces piléoles sont plus extérieures; ceci est un effet naturel du développement; les piléoles les plus extérieures étant les plus âgées, leurs cellules composantes doivent nécessairement être les plus développées; les piléoles intérieures, d'un âge moins avancé, ont leurs cellules plus petites. Il résulte de là que l'ensemble de ces petits cônes emboîtés offre, dans sa composition générale, des cellules qui décroissent de grandeur de la circonférence vers le centre ou de la surface du cône général vers son axe. Or, ce décroissement des cellules de la circonférence vers le centre est une condition organique de laquelle résulte nécessairement la tendance à l'incurvation *en dedans* des parties concentriques dont se compose le cône général, qui constitue ici le sommet de la tige. Ce sommet conique de tige, qui possède sous ce point de vue l'organisation du système cortical d'une racine, doit donc, comme cette dernière, se diriger vers la terre, par le mécanisme que j'ai indiqué plus haut. Cette tige conique ressemble, sous le point de vue de son organisation cellulaire, à une racine qui n'aurait point de système central, et sa tendance vers la terre en est d'autant plus forte; car on a vu plus haut que le système central est, en vertu de son décroissement des cellules de dedans en dehors, l'agent de la direction des caudex végétaux vers le ciel, tandis que le système cortical est, en vertu de son décroissement des cellules de dehors en dedans, l'agent de la direction des caudex végétaux vers la terre. Les racines se dirigent vers la terre, parce que leur système cortical est plus fort que leur système central; à plus forte raison un caudex végétal se dirigera-t-il, et avec plus de force, vers la terre, lorsqu'il ne possédera rien qui, sous le point de vue de l'ordre de décroissement des cellules, soit analogue au système central. C'est le cas des sommets coniques des tiges souterraines dont je viens de parler : aussi la tendance vers la terre, de ces sommets de tiges, est-elle suffisamment forte pour leur faire vaincre des obstacles assez puissants.

Les tiges souterraines qui rampent horizontalement dans le sol sont communes; on les observe chez beaucoup de

végétaux de toutes les classes. Ces tiges, la plupart du temps horizontales, doivent leur position souterraine à ce qu'elles n'ont possédé dès leur naissance aucune tendance à se diriger en haut; étant nées sous terre, elles y sont restées et s'y sont développées dans une position horizontale, parce qu'elles ne tendaient ni vers le ciel ni vers la terre, ou plutôt parce qu'elles tendaient également vers ces deux points opposés; on en trouve facilement la raison dans leur organisation. Leur système central et leur système cortical sont généralement égaux en volume, en sorte que les tendances opposées dont ces deux systèmes sont les agents, se contre-balancent et se font équilibre. Il en résulte nécessairement que la tige doit conserver une position horizontale et s'accroître dans cette direction; demeurant ainsi souterraine jusqu'à ce que son système central soit devenu prédominant, ce qui la déterminera à devenir ascendante.

Le système central, composé d'organes cellulaires décroissants de grandeur de dedans en dehors, doit être généralement regardé comme l'agent de la direction ascendante des caudex végétaux; le système cortical, lorsqu'il est spécialement composé d'organes cellulaires décroissants de grandeur de dehors en dedans, doit être généralement regardé comme l'agent de la direction descendante de ces mêmes caudex; il y aura, en effet, direction ascendante ou direction descendante, suivant que ce sera le système central ou le système cortical composé, comme il vient d'être dit, qui seront prédominants en volume et par conséquent en force d'incurvation. Pour faire avec justesse cette appréciation du volume respectif des deux systèmes, il est une observation mathématique importante à faire. Lorsqu'on veut apprécier le volume comparatif du système central et du système cortical dans une plante, il ne faut pas faire cette appréciation par la considération de l'étendue linéaire qui mesure leur épaisseur diamétrale. Ainsi, par exemple, lorsqu'on voit une plante dont le système central possède un diamètre 4 et dont le système cortical possède seulement de chaque côté une épaisseur 1, on serait tenté d'admettre que, dans cette plante, le système central est plus volumineux que le système cortical, et cependant c'est l'inverse qui a lieu. Effectivement, la tige entière formant un cylindre dont le diamètre est 6, son volume sera égal au cube de 6, c'est-à-dire à 216. Le système central considéré isolément, formant un cylindre dont le diamètre est 4, son volume sera égal au cube de 4, c'est-à-dire à 64. Or, en retranchant ce volume 64 du volume de la tige qui est 216, il reste 152 pour le volume du système cortical, lequel se trouve ainsi bien supérieur au volume du système central. On voit par ce calcul que le système cortical peut paraître souvent très-inférieur en volume au système central, et lui être cependant supérieur par le fait. Pour que ces deux systèmes soient égaux en volume, il faut que le caudex végétal cylindrique, ayant un diamètre total 5,04, dont le cube est très-aproximativement 128, son système central ait un diamètre 4 dont le cube 64 retranché de 128 laisse le même nombre 64 pour le cube proportionnel du système cortical. Ce dernier possède alors de chaque côté une épaisseur de 0,52 ou une épaisseur diamétrale totale de 1,04. Ainsi, lorsque sur un caudex végétal dont le diamètre total est 504 le système cortical possède 104 d'épaisseur diamétrale dans ses deux côtés pris ensemble, cette épaisseur totale du système cortical est $\frac{104}{504}$ ou $\frac{13}{63}$ du diamètre total du caudex végétal dont les deux systèmes cortical et central sont égaux en volume et par conséquent en force d'incurvation. Si cette largeur diamétrale de l'écorce était portée seulement à $\frac{14}{63}$ ou à $\frac{2}{9}$ du diamètre total du caudex végétal, le système cortical deviendrait un peu plus volumineux que le système central, et sa force d'incurvation devenue par conséquent légèrement prédominante tendrait à incliner le caudex végétal vers la terre. J'insiste beaucoup sur cette considération mathématique; sans elle on pourrait faire à ma théorie des objections qui paraîtraient spécieuses et qui ne seraient

point fondées ; avec elle on expliquera facilement la plupart des phénomènes de direction ascendante ou descendante que prennent les caudex végétaux. Ainsi, par exemple, le pédoncule de la fleur de bourrache se courbe et dirige sa fleur vers la terre ; or j'ai observé au microscope la coupe transversale de ce pédoncule ; j'ai vu que son système central est composé de cellules décroissantes de dedans en dehors, et son système cortical composé de cellules décroissantes de dehors en dedans, ainsi que cela a lieu le plus généralement. Or, le pédoncule entier ayant un diamètre 6, le système central a un diamètre 4, ce qui laisse 2 en total ou 1 de chaque côté pour l'épaisseur diamétrale du système cortical. On vient de voir tout à l'heure que dans ce cas le volume du système cortical est au volume du système central comme 152 est à 64. Le système cortical étant ici prédominant, c'est lui qui opère la direction du pédoncule vers la terre, sous l'influence de la pesanteur. Il se comporte comme une racine.

Dans bien des circonstances, on voit les branches de certains arbres affecter obliquement une direction descendante vers la terre sans y être contraintes par une grande flexibilité. On a remarqué spécialement ce phénomène dans la variété du frêne qui porte le nom de *frêne pleureur*. Avec un peu d'attention, on observe le même phénomène dans une grande quantité d'autres arbres, et notamment chez l'orme, mais il n'y est pas aussi marqué que chez l'arbre que je viens de citer. Ordinairement les scions de l'orme qui ont une direction descendante, n'offrent ce phénomène que dans les premiers temps de leur évolution ; lorsqu'ils ont acquis une certaine longueur, ils se redressent vers le ciel. Ce phénomène de la direction descendante des branches ne dépend point ordinairement de la cause que je viens d'expliquer, car leur système central est plus volumineux que leur système cortical ; il y a donc une autre cause qui opère la direction oblique des branches vers la terre ; cette cause est la *tendance à fuir la lumière*, tendance que j'étudierai dans un autre mémoire. On conçoit, en effet, que s'il existe dans les branches d'un arbre une tendance à fuir la lumière, laquelle vient généralement d'en haut, elles doivent tendre à se diriger en bas.

La prédomination du système cortical sur le système central dans les racines tient sans doute à leur nature, mais on ne peut douter qu'elle ne tienne aussi à leur position dans un milieu humide ; leur écorce sans cesse en contact avec l'eau qu'elle absorbe, soustraite à l'influence de l'évaporation, se gonfle de sucs et la nutrition y devient très-active ; il en arrive autant aux tiges souterraines que possèdent beaucoup de végétaux.

Il est à remarquer que, même chez les végétaux monocotylédons dont les tiges aériennes ne possèdent point de système cortical apercevable, les tiges souterraines, lorsqu'elles existent, ont une écorce très-développée qui disparaît en devenant rudimentaire lorsqu'elles se changent en tiges aériennes. A plus forte raison, les racines de ces plantes monocotylédones possèdent-elles une écorce dont le volume est considérable. Ainsi il est généralement de l'essence de la racine naissante de posséder un système cortical prédominant sur le système central, et d'être par conséquent soumise au pouvoir d'incurvation de ce système cortical, lequel tend à la faire descendre ; il est généralement de l'essence de la tige de posséder un système central prédominant sur le système cortical, et d'être par conséquent soumise au pouvoir d'incurvation de ce système central qui tend à la faire monter. Par cas exceptionnels, il y a des tiges qui, possédant un système cortical ou plus volumineux que le système central ou égal à ce système, sont ou descendantes ou horizontales.

Les racines ne descendent pas toujours verticalement, il y en a beaucoup qui croissent horizontalement dans le sol. Cette position horizontale des racines a sa cause dans l'égalité du volume de leurs deux systèmes cortical et central. A ce

sujet, il est une observation importante à faire. Ce n'est que dans sa jeunesse que la racine opère sa direction. Cette direction étant une fois donnée et la racine logée dans le terrain, elle doit nécessairement demeurer dans la position qui lui a été primitivement donnée, quand bien même elle viendrait à perdre les conditions d'organisation en vertu desquelles cette position a été prise. Ainsi les vieilles racines, chez les végétaux dicotylédons, ont bien plus de volume dans leur système central que dans leur système cortical; mais ces racines, souvent devenues inflexibles, n'ont plus de direction à prendre, elles sont invariablement fixées dans la position qu'elles ont prise dans leur jeunesse. A cette dernière époque, leur système cortical plus volumineux que leur système central, ou égal à ce système, détermine leur position descendante ou leur position horizontale, position qu'elles conservent ensuite nécessairement. Ce n'est donc généralement que sur les racines nouvellement développées qu'il faut fixer son attention si l'on veut apprécier les conditions organiques auxquelles est due leur direction descendante ou horizontale. J'ai observé que, chez les végétaux ligneux, et spécialement, par exemple, dans la vigne, la partie la plus nouvellement développée des radicelles est beaucoup plus volumineuse que ne l'est le corps de cette même radicelle qu'elle prolonge. Cette observation est facile à faire au printemps, au retour de la végétation; on voit alors la radicelle de l'année précédente, radicelle qui est noire et très-grêle, donner naissance en se prolongeant, à une radicelle blanche et beaucoup plus volumineuse. Cet excès de volume de la nouvelle radicelle tient au développement considérable de son parenchyme cortical; en vieillissant, ce parenchyme meurt et se décompose, il n'en reste plus alors qu'une couche très-mince, en sorte que la radicelle perd une portion très-considérable de son volume primitif. On conçoit ainsi combien il est important d'avoir égard aux changements que l'âge a apportés dans les volumes respectifs des deux systèmes cortical et central chez les racines, si l'on veut apprécier avec exactitude les conditions organiques auxquelles sont dues les directions spéciales qu'elles affectent.

Les racines prennent quelquefois une direction ascendante comme des tiges; ce cas est assez rare. Ce phénomène se remarque spécialement chez les plantes du genre *pothos*. Chez les plantes de ce genre, on voit des racines assez volumineuses qui, nées dans l'air et à peu de distance au-dessus du sol, se dirigent très-souvent verticalement vers le ciel; d'autres fois elles descendent vers la terre. J'ai surtout observé ce phénomène chez les *pothos maxima, crassinervia* et *digitata*. J'ai même vu, chez ce dernier, des racines qui, après s'être développées horizontalement dans la partie superficielle du sol, se relevaient tout à coup dans l'atmosphère et se dirigeaient verticalement vers le ciel. J'ai reconnu que ces racines aériennes, toutes de couleur verte, possèdent un système cortical très-volumineux et un système central très-exigu. Or, d'après les principes que j'ai posés, ces racines devraient descendre vers la terre et non monter vers le ciel, puisque c'est en vertu de la prédomination de leur système cortical que les racines prennent une direction descendante. Ce fait semble donc, au premier coup d'œil, devoir renverser ma théorie; bien loin de là, cependant, je vais faire voir qu'il en offre une singulière confirmation.

Le type général de l'organisation du système cortical dans les racines est le décroissement de dehors en dedans des cellules qui composent son parenchyme; c'est cet ordre de décroissement qui détermine l'incurvation en *dedans* du système cortical et par suite la descente des caudex végétaux chez lesquels ce système est prédominant. Or, par une anomalie singulière, le système cortical des racines aériennes et ascendantes des *pothos* se trouve composé de cellules décroissantes de dedans en dehors dans presque toute son épaisseur; il n'y a auprès du système central qu'une faible couche de cellules

qui décroissent de grandeur de dehors en dedans. Il résulte de cette disposition inverse de l'état normal, que le système cortical de ces racines doit tendre à se courber, non plus en dedans, comme cela a lieu dans l'état normal, mais en dehors. C'est aussi ce que l'expérience fait voir, en plongeant dans l'eau de petits fragments longitudinaux de ce système cortical. Il suit naturellement de là que, dans cette circonstance, la direction de la racine doit être inverse de celle qu'elle affecte dans l'état normal, c'est-à-dire qu'au lieu de descendre vers la terre, elle doit monter vers le ciel. Son système cortical est semblable au système central sous le point de vue de l'ordre de décroissement de ces cellules composantes. Or, comme j'ai démontré que c'est en vertu de cet ordre de décroissement que le système central dirige vers le ciel les tiges dans lesquelles il est toujours prédominant, il est évident que le système cortical des racines dont il est ici question doit produire le même effet. Ainsi, cette exception remarquable dans le mode d'organisation des racines confirme d'une manière éclatante la théorie que j'ai établie, bien loin de l'infirmer comme cela semblait devoir être au premier coup d'œil.

Les racines souterraines des *pothos* possèdent en partie l'organisation que je viens de signaler dans leurs racines aériennes. Leur système cortical présente toujours superficiellement une couche de cellules qui décroissent de grandeur de dedans en dehors et à laquelle succède une couche plus épaisse de cellules qui décroissent comme à l'ordinaire de dehors en dedans, en sorte que c'est dans le milieu du système cortical, qui est très-volumineux, que se trouvent les plus grandes cellules. La couche profonde qui tend à se courber en dedans, étant, chez les racines souterraines, plus épaisses que la couche superficielle, qui tend à se courber en dehors, il en résulte que c'est la première qui l'emporte et qui opère la direction de la racine vers la terre. L'inverse a lieu ordinairement chez les racines aériennes; c'est la couche superficielle qui est plus épaisse que la couche profonde, et qui par conséquent l'emporte et opère la direction de la racine vers le ciel. Il paraît que c'est à l'action desséchante de l'atmosphère qu'il faut attribuer l'augmentation d'épaisseur de la couche extérieure à cellules décroissantes de dedans en dehors du système cortical des racines aériennes des pothos. L'évaporation dissipant rapidement les liquides que contiennent ces cellules superficielles, elles se développent mal, elles s'atrophient jusqu'à une profondeur plus ou moins considérable. L'action de la lumière, en augmentant leur émanation aqueuse, contribue à empêcher le développement de ces cellules superficielles qui se remplissent de matière verte. Lorsque, malgré leur position aérienne, ces racines sont descendantes, cela provient de ce que l'atrophie des cellules de leur système cortical n'a pas pénétré très-profondément, en sorte que ces racines ont conservé en quantité suffisante les conditions de décroissement normal des cellules de leur système cortical, et que par suite elles ont conservé leur tendance vers la terre. Je pense aussi que la tendance descendante de ces racines aériennes, lorsqu'elle existe, est favorisée par la tendance qu'elles ont à fuir la lumière, ainsi que je le ferai voir dans un autre mémoire.

Le volume prédominant de l'un des deux systèmes cortical ou central ne peut être pour un caudex végétal une cause de direction vers la terre ou vers le ciel qu'autant que ces deux systèmes sont composés de cellules ou plus généralement d'organes cellulaires dont la grosseur offre un décroissement dans un sens déterminé. Lorsque ces organes cellulaires composants sont tous sensiblement égaux ou lorsqu'ils n'offrent point un décroissement régulier de grosseur dans un sens déterminé, ils ne sont point susceptibles de produire l'incurvation des parties qu'ils composent; dès lors ces parties sont incapables d'affecter une direction spéciale; il leur manque la possibilité de se courber spontanément; c'est ce qui a lieu chez certains rhizômes.

Les rhizômes sont de véritables tiges ordinairement souterraines; tels sont ceux

des *nymphea*, de plusieurs *iris*, du *ruscus aculeatus*, etc. Le rhizôme de l'*iris germanica* n'est point souterrain, il est couché superficiellement sur le sol. Les rhizômes souterrains des autres plantes que je viens de citer sont également dans une situation horizontale. Ces tiges horizontales de végétaux monocotylédons ont toutes un système cortical très-marqué, mais extrêmement inférieur en volume à celui du système central. L'observation microscopique du tissu de ces deux systèmes fait voir qu'ils sont l'un et l'autre composés de cellules qui n'offrent aucun décroissement de grosseur, ni du centre vers la circonférence, ni de la circonférence vers le centre. L'absence de ce décroissement entraine nécessairement l'absence de toute tendance à l'incurvation ; ces tiges sont par conséquent incapables de se fléchir pour choisir une direction ; elles doivent donc demeurer horizontales, c'est leur poids qui leur donne cette direction. Ne tendant ni à monter ni à descendre, elles demeurent couchées dans le sol ou sur le sol comme le feraient des corps inertes.

Des vérités désormais incontestables se trouvent établies par cet ensemble des faits :

1° Les directions ordinairement inverses et quelquefois semblables que prennent les tiges et les racines dépendent, sous le point de vue organique, de la prédomination du volume de l'un de leurs deux systèmes cortical ou central, systèmes composés l'un et l'autre d'organes cellulaires décroissants, mais dans des sens inverses pour chaque système. Sous le point de vue physique, ces directions dépendent de l'influence de la pesanteur et de l'endosmose qui produit la turgescence des cellules décroissantes et par suite l'incurvation des parties que ces cellules composent par leur assemblage.

2° En vertu du sens inverse du décroissement de leurs cellules composantes, les deux systèmes cortical et central tendent à se courber dans des sens inverses. La racine ayant plus de système cortical que de système central, agit pour se courber avec l'excès de son système cortical ; la tige, au contraire, ayant plus de système central que de système cortical, agit pour se courber avec l'excès de son système central, ou avec ce système central sans aucune opposition lorsque l'écorce est rudimentaire.

3° C'est la précipitation de la séve la plus dense dans le côté inférieur du caudex végétal couché horizontalement qui, en diminuant l'endosmose implétive, et par conséquent la turgescence, dans les cellules de ce côté, laisse, par cela même, une supériorité de turgescence et par conséquent de force d'incurvation au côté opposé, lequel courbe vers la terre la racine fléchie par son système cortical, et vers le ciel la tige fléchie par son système central.

§ II. — *De la direction des tiges et des racines sous l'influence du mouvement de rotation.*

Les plumules des embryons séminaux pour se diriger vers le ciel, et leurs radicules pour se diriger vers la terre, doivent nécessairement être dans une position fixe pendant le temps nécessaire pour qu'elles puissent opérer les flexions qui les dirigent dans des sens opposés. On sent, en effet, que si la graine en germination était sans cesse retournée, l'embryon séminal ne pourrait diriger sa plumule vers le ciel et sa radicule vers la terre. D'après cette considération, il devenait curieux de savoir ce qui arriverait à des graines qui, soumises à un mouvement de rotation continuel, présenteraient ainsi leur radicule et leur plumule, chacune successivement au ciel et à la terre. Hunter mit une fève au centre d'un baril plein de terre et qui était animé d'un mouvement continuel de rotation sur son axe horizontal : la radicule se dirigea dans le sens de l'axe de la rotation du baril. M. Knight [1] fixa des graines de haricot à la circonférence d'une

[1] Philosophical Transactions of the royal Society of London. 1806.

roue de onze pouces de diamètre, laquelle mue continuellement par l'eau dans un plan vertical, faisait cent cinquante révolutions par minute. Il résulta de cette expérience que chaque graine dirigea sa radicule et sa plumule dans le sens des rayons de la roue; les radicules tendirent vers la circonférence et les plumules vers le centre. M. Knight répéta la même expérience avec une roue de semblable diamètre et qui était mue dans un plan horizontal; elle faisait deux cent cinquante révolutions par minute. Toutes les radicules se dirigèrent encore vers la circonférence et les plumules vers le centre, mais avec une inclinaison de 10 degrés des radicules vers la terre et des plumules vers le ciel. En réduisant à quatre-vingts révolutions par minute la vitesse de rotation de cette roue horizontale, l'inclinaison des radicules vers la terre, et des plumules vers le ciel, devint de 45 degrés. Ces expériences sont extrêmement intéressantes, en ce qu'elles démontrent qu'il existe des moyens d'occasionner artificiellement chez les plantes des directions différentes de celles qu'elles prennent naturellement. Je résolus de répéter ces expériences et de les varier; mais comme je ne pouvais disposer d'un appareil mu par l'eau sans interruption, je pris le parti faire construire un mouvement d'horlogerie assez semblable à un tournebroche. Il était mu par un poids de deux cent soixante-dix livres, que l'on remontait de douze heures en douze heures; son mouvement était réglé par un régulateur ou volant, dont la rotation s'opérait dans le sens horizontal: les roues verticales, qui étaient au nombre de cinq, prolongeaient leurs axes de chaque côté au delà des montants qui les supportaient; ces prolongements des axes étaient carrés, en sorte qu'il était facile d'y adapter une roue de bois, à la circonférence ou au centre de laquelle je plaçais les graines dont je voulais observer la germination. Je plaçais ces graines dans des ballons de verre munis de deux ouvertures diamétralement opposées, et que je fermai avec des bouchons après y avoir introduit la quantité d'eau nécessaire pour la végétation des embryons des graines. Celles-ci étaient enfilées par leurs enveloppes, ou par leurs cotylédons, au moyen de deux fils de cuivre extrêmement déliés, dont les extrémités étaient fixées de part et d'autre aux bouchons qui fermaient les deux ouvertures des ballons de verre. Ceux-ci étaient ensuite fixés d'une manière solide à la roue avec laquelle ils devaient se mouvoir; de cette manière, les graines transportaient avec elles dans leur mouvement circulaire l'eau nécessaire à leur germination; les ballons de verre au milieu desquels elles étaient fixées d'une manière invariable, avaient l'avantage de les soustraire à l'influence de toute action mécanique de la part du milieu dans lequel le mouvement s'opérait. Le fil de cuivre dont je me suis servi pour fixer les graines dans l'intérieur des ballons de verre est le plus fin que l'on emploie pour envelopper en spirale des cordes d'instruments.

J'ai pris des graines de pois (*pisum sativum*) et des graines de vesce (*vicia sativa*) qui commençaient à germer; je les ai placées, suivant le procédé décrit plus haut, dans des ballons de verre que j'ai fixés à la circonférence d'une roue d'un mètre de diamètre, qui faisait quarante révolutions par minute. Le résultat de cette expérience fut que toutes les radicules se dirigèrent vers la circonférence, et que toutes les plumules se dirigèrent vers le centre de la rotation; les radicules, qui s'étaient trouvées originairement tournées vers le centre, se retournèrent vers la circonférence; les plumules se courbèrent de même pour se diriger vers le centre. Cette expérience, répétée plusieurs fois, m'a donné constamment le même résultat, qui est également celui qui a été obtenu par M. Knight.

A l'exemple de M. Knight, j'ai voulu éprouver l'effet que produirait sur les graines en germination une rotation rapide, opérée dans un plan horizontal; pour cela, j'ai remplacé le régulateur ou volant de mon mouvement d'horlogerie par une règle de bois, à chacune des extrémités

de laquelle j'ai attaché solidement un petit ballon de verre contenant des graines de vesce, fixées dans son intérieur, comme je l'ai dit plus haut, au moyen de deux fils de cuivre; cette règle formait un diamètre de 38 centimètres de longueur, elle faisait cent vingt révolutions par minute. Les radicules et les plumules se dirigèrent dans un sens parfaitement horizontal, les premières vers la circonférence et les secondes vers le centre. Ici les graines n'avaient point cessé d'être soumises à la cause qui, dans l'état naturel, préside à la direction perpendiculaire de la plumule et de la radicule; mais cette cause naturelle avait été surpassée en énergie par la cause artificielle employée dans cette circonstance, c'est-à-dire par la force centrifuge qui résultait de la rotation rapide. M. Knight n'avait pas obtenu un résultat aussi complet de son expérience sur les graines de haricot soumises au mouvement de rotation horizontale, puisqu'elles avaient conservé un peu de leur tendance verticale; cependant la force centrifuge à laquelle elles étaient soumises était plus considérable qu'elle ne l'était dans mon expérience, puisque sa roue, qui avait 11 pouces anglais (ou 28 centimètres) de diamètre, faisait deux cent cinquante révolutions par minute. Cette différence dans le résultat dépend entièrement de la nature des graines soumises à l'expérience. J'ai éprouvé que l'embryon de la graine de vesce est beaucoup plus facile à influencer pour sa direction que ne le sont les embryons beaucoup plus gros des graines de haricot ou de pois; aussi est-ce presque toujours avec des graines de vesce que j'ai fait mes expériences. J'ai placé un certain nombre de ces graines dans un ballon de verre dont elles occupaient le diamètre intérieur, fixées, comme à l'ordinaire, dans cette place au moyen de deux fils de cuivre qui enfilaient leurs enveloppes. J'ai attaché ce ballon de verre sur une petite planche que j'ai adaptée au pivot du volant horizontal de mon mouvement d'horlogerie, en remplacement de ce volant; cet appareil faisait deux cent cinquante révolutions par minute; le centre de la rotation répondait au milieu de cette série longitudinale et horizontale de graines, une de ces dernières était située aussi exactement que possible au centre même; cependant la radicule de celle-ci se trouva décrire un cercle extrêmement petit, car je ne pense pas qu'il eût, dans l'origine, plus d'un à deux millimètres de rayon. Cette radicule se dirigea vers la circonférence, dans un sens parfaitement horizontal; la plumule s'éleva verticalement vers le ciel; les radicules des autres graines, qui étaient plus éloignées du centre, se dirigèrent à plus forte raison dans une horizontalité parfaite vers la circonférence; leurs plumules se dirigèrent toutes vers le centre, mais avec différents degrés d'inclinaison par rapport à l'horizon : celles qui étaient à plus de deux centimètres du centre dirigèrent leurs plumules vers ce dernier avec une horizontalité parfaite; celles qui étaient situées plus près du centre s'en approchèrent en se dirigeant obliquement vers le ciel; enfin toutes les plumules, ayant continué de s'accroître, se réunirent en faisceau au centre, où elles prirent toutes une direction verticale vers le ciel. Je répétai cette expérience avec des graines germées, dont je dirigeai la radicule vers la terre; au bout de quelques heures de rotation, les radicules abandonnèrent cette direction naturelle, et, se courbant vers la circonférence, se placèrent dans une situation horizontale.

La rotation horizontale la plus lente qu'il m'ait été possible d'obtenir avec mon mouvement d'horlogerie a été de cinquante-quatre révolutions par minute. Les graines de vesce soumises à cette rotation ont incliné leur radicule vers la terre, dans une position oblique, éloignée d'environ 45 degrés de la ligne verticale, et dirigée vers la circonférence; les plumules ont affecté le même degré d'inclinaison vers le centre, en montant obliquement vers le ciel.

Après avoir répété et vérifié les expériences de M. Knight, j'ai voulu essayer de reproduire l'expérience de Hunter,

qui a vu qu'en faisant tourner une graine sur elle-même, la radicule se dirigeait dans le sens de l'axe horizontal de la rotation; cette observation fort incomplète méritait d'être suivie. J'ai placé un ballon de verre, contenant des graines de vesce, au centre d'une roue verticale qui faisait quarante révolutions par minute; j'avais fait en sorte que la série longitudinale des graines, que maintenaient les deux fils de cuivre, fût située aussi exactement que possible sur le prolongement de l'axe horizontal de la rotation, axe dirigé à peu près du nord-est au sud-ouest. Les radicules et les plumules se dirigèrent également selon cet axe de rotation, mais dans des sens diamétralement opposés; les radicules s'avancèrent vers le sud-ouest et les plumules vers le nord-est. Le même effet eut lieu avec tous les degrés de vitesse de rotation qu'il me fût possible d'employer, ce qui me prouva que ce phénomène ne dépendait point du tout du degré de cette vitesse. Je pensai que cette direction spéciale de la plumule et de la radicule pouvait provenir du sens dans lequel la rotation s'opérait; je répétai donc mon expérience en faisant tourner la roue dans le sens opposé à celui dans lequel sa rotation s'opérait précédemment; mais le résultat ne varia point: les radicules se dirigèrent constamment vers le sud-ouest, et les plumules vers le nord-est. Ce phénomène singulier pouvait donner lieu de penser, que les radicules tendaient vers un point déterminé de l'horizon et les plumules vers le point opposé; on pouvait croire qu'il y avait quelque chose de *magnétique* dans cette double direction; mais un examen attentif, en m'apprenant la véritable cause de ce phénomène, me fit voir combien il faut se tenir en garde contre les déceptions de l'expérimentation [1]. Je soupçonnai que l'axe de la roue n'était pas horizontal quoiqu'il parût l'être; je lui appliquai un niveau, et je vis qu'il inclinait vers le sud-ouest d'une quantité que je trouvai être d'un degré et demi. Cette inclinaison, quoique légère, me parut devoir être la cause de la direction spéciale des caudex séminaux; pour m'en assurer, je penchai légèrement mon mouvement d'horlogerie, en inclinant les axes des roues vers le nord-est, et dans cette position je recommençai mon expérience. Alors les directions précédentes de la plumule et de la radicule furent interverties: les radicules se dirigèrent vers le nord-est, et les plumules vers le sud-ouest. Ainsi, il me fut démontré que la radicule se dirige vers le côté abaissé de l'axe dont elle suit la pente en descendant, et que la plumule, au contraire, se dirige vers le côté relevé de l'axe dont elle suit la pente en remontant. Il est évident que, dans cette circonstance, la plumule et la radicule subissent l'influence de la cause qui les sollicite

[1] L'idée de rapporter les directions opposées de la plumule et de la radicule à une sorte de *polarité* est une des premières qui se présenta à mon esprit; et si j'eusse observé superficiellement, j'aurais été affermi dans cette opinion par une expérience décevante. Une aiguille aimantée, librement suspendue sur son pivot et placée à la circonférence d'une roue horizontale qui tourne sur son axe vertical, dirige toujours son pôle sud vers le centre de la rotation, et son pôle nord vers la circonférence. Ce phénomène ne paraît-il pas semblable à celui de la direction de la plumule vers le centre de la rotation, et de la radicule vers la circonférence? Cependant il n'en est rien. Le pôle nord se dirige vers la circonférence, parce que la partie de l'aiguille qu'il occupe a plus de masse que celle du pôle opposé, afin de compenser la force d'inclinaison de ce dernier. Cette moitié *nord* ayant plus de masse que la moitié *sud*, obéit davantage à la force centrifuge. Si l'on emploie à cette expérience une aiguille aimantée, dont les deux moitiés ont une masse égale, et qui par conséquent aura de l'inclinaison, le résultat sera le même; le pôle sud se dirigera encore vers le centre; en voici la raison: un liquide contenu dans un vase placé à la circonférence de la roue qui tourne horizontalement, perdra son horizontalité; sa surface présentera un plan incliné vers le centre de la rotation. Or, l'aiguille se comporte dans cette circonstance de même que le liquide, et comme elle est naturellement inclinée, c'est son pôle incliné, c'est-à-dire son pôle sud qui doit se diriger vers le centre. Je rapporte ici cette expérience pour éviter qu'elle ne trompe quelqu'un, et pour faire voir en même temps combien il faut se tenir en garde contre les analogies apparentes.

dans l'état naturel ; mais ne pouvant, à cause de la rotation continuelle, monter et descendre verticalement, elles montent et descendent par une ligne inclinée. Après m'être éclairci sur ce point, j'ai voulu voir ce qui arriverait en plaçant l'axe dans une horizontalité parfaite, et j'ai vu qu'alors la plumule et la radicule se sont dirigées comme les deux rayons d'un même diamètre d'un cercle vertical dont la graine occupait le centre. Ayant répété plusieurs fois de suite la même expérience, je vis que les caudex séminaux se dirigeaient constamment dans le sens d'un diamètre toujours le même, et que, par conséquent, la plumule tendait constamment vers un point déterminé de la circonférence de la roue au centre de laquelle la graine était fixée, et que la radicule tendait constamment vers le point diamétralement opposé, et toujours le même de cette circonférence. J'ai cherché, sans succès, pendant fort longtemps, la cause de cette tendance spéciale, et je l'ai enfin trouvée en observant des graines en germination soumises à un mouvement très-lent de rotation. J'avais fixé deux ballons de verre, contenant, comme à l'ordinaire, des graines de vesce prêtes à germer, à la circonférence d'une roue de deux décimètres de rayon qui faisait trente révolutions par heure; un autre ballon de verre semblable était placé au centre de cette même roue, dont l'axe de rotation était parfaitement horizontal. Les radicules, dans ces trois ballons de verre, prirent une même direction, c'est-à-dire qu'elles se dirigèrent suivant des lignes toutes parallèles entre elles; les plumules prirent généralement une direction diamétralement opposée à celle des radicules. De cette manière, les graines situées au centre de la roue avaient leurs radicules dirigées selon l'un des rayons de cette roue; les graines situées à la circonférence avaient leurs radicules dirigées parallèlement à ce même rayon et du même côté. Les réflexions que je fis sur ce phénomène me conduisirent à penser qu'il y avait de l'inégalité dans le mouvement de la roue, c'est-à-dire qu'il y avait un des points de cette roue qui marchait vite pendant une demi-révolution, et qui marchait plus lentement pendant l'autre demi-révolution. Comme chaque révolution s'exécutait dans l'espace de deux minutes, il me fut facile de mesurer et de comparer entre elles les diverses parties de cette révolution, au moyen d'un pendule qui marquait les demi-secondes. Je trouvai de cette manière que ce que j'avais soupçonné avait lieu effectivement ; la rotation de la roue n'était point uniforme. Celui des points de sa circonférence pour lequel cette inégalité de mouvement était la plus marquée parcourait l'une de ses deux demi-révolutions, observée en partant d'un point déterminé, en soixante-six secondes, et l'autre demi-révolution en cinquante-quatre secondes ; en sorte que les temps dans lesquels s'opéraient ces deux demi-révolutions étaient entre eux comme onze est à neuf. Or, les caudex séminaux étaient tous perpendiculaires à celui des diamètres de la roue qui, en raison de l'inégalité de la rotation, restait le plus longtemps exposé à l'influence de la pesanteur par l'un de ses côtés ou *flancs* pendant une demi-révolution, et le moins longtemps exposé à cette même influence par le *flanc* opposé pendant l'autre demi-révolution. Les radicules étaient perpendiculaires au côté ou *flanc* le plus longtemps tourné vers la terre, et les plumules se dirigeaient perpendiculairement sur le côté ou *flanc* opposé, lequel était le plus longtemps tourné vers le ciel ; ainsi, dans cette circonstance, les caudex séminaux se dirigeaient sous l'influence de la pesanteur à laquelle ils étaient incomplétement soustraits à cause de l'inégalité du mouvement de rotation. Cette inégalité du mouvement provenait de la construction défectueuse de mon mouvement d'horlogerie, qui avait été confectionné par un serrurier fabricant de tournebroches. Quelques tentatives que j'aie faites, il m'a été impossible de corriger ce défaut et d'obtenir un mouvement de rotation parfaitement égal; en revanche, il m'a été facile de rendre la rotation de mes roues plus inégale qu'elle ne l'était, en les char-

geant aux deux extrémités d'un même diamètre de ballons de verre d'inégale pesanteur, de manière cependant à ce que le mouvement de rotation ne fût pas arrêté par une trop forte inégalité de poids entre ces ballons. J'ai pleinement confirmé de cette manière les résultats de l'expérience précédente. Lorsque le ballon le plus pesant parcourait sa demi-révolution en descendant, son excès de poids s'ajoutait à la force motrice et accélérait le mouvement : lorsque au contraire ce même ballon parcourait sa demi-révolution en remontant, son excès de poids diminuait la force motrice et retardait le mouvement. Il résultait de là que le diamètre sur lequel étaient placés ces deux ballons présentait ses deux *flancs* à la terre pendant des espaces de temps inégaux : lorsque, par exemple, le ballon le plus pesant était au point le plus bas de sa révolution, il commençait à parcourir lentement sa demi-révolution ascendante, et le diamètre sur lequel il était placé présentait pendant longtemps à la terre l'un de ses flancs, et cela sous tous les degrés successifs d'inclinaison jusqu'à ce que le ballon pesant eût gagné le point le plus élevé de la révolution. A partir de ce moment, le ballon pesant parcourait rapidement sa demi-révolution descendante, et le diamètre sur lequel il était placé présentait, pendant peu de temps, à la terre, son autre *flanc* sous tous les degrés d'inclinaison. Il résultait de là que ces deux flancs opposés du diamètre dont il est ici question étaient dirigés vers la terre pendant des temps inégaux, et que, par conséquent, la pesanteur devait agir sur les embryons séminaux avec une force proportionnelle à cette différence de temps. La direction des caudex séminaux devait, dans cette circonstance, être la ligne moyenne entre toutes les inclinaisons sous lesquelles le flanc du diamètre se présentait à la terre, c'est-à-dire que les caudex séminaux devaient être perpendiculaires au diamètre dont il s'agit : c'est aussi ce que l'expérience m'a prouvé. Ainsi, en observant l'appareil lorsque le ballon pesant parcourait sa demi-révolution ascendante, et au moment où le diamètre sur lequel il était situé était horizontal, on voyait toutes les radicules dirigées verticalement vers le centre de la terre, et toutes les plumules dirigées verticalement vers le ciel. Il n'y avait ainsi qu'une seule et même direction pour toutes les graines contenues dans les ballons dont la roue pouvait être chargée, soit à son centre, soit à sa circonférence. Ainsi me fut dévoilée la cause de la direction, selon les deux rayons d'un même diamètre, d'un cercle vertical qu'affectaient les deux caudex séminaux de mes graines lorsqu'elles tournaient sur elles-mêmes; l'axe étant parfaitement horizontal. Il m'était impossible d'apercevoir cette cause lorsque j'employais une rotation plus rapide, qui ne permettait pas de mesurer la durée des demi-révolutions, ni même de soupçonner leur inégalité.

On voit, par les expériences qui viennent d'être rapportées, que lorsque la rotation est lente, les embryons séminaux qui l'éprouvent cessent de diriger leur radicule vers la circonférence et leur plumule vers le centre. Il me paraissait important de trouver quel est le degré de vitesse de rotation où cette direction spéciale cesse d'avoir lieu. Les expériences que j'ai faites sur cet objet ne m'ont rien appris de bien positif; d'abord parce que je n'ai pu essayer toutes les vitesses de mouvement; en second lieu, à cause de la construction défectueuse de mon mouvement d'horlogerie. Le mouvement le plus lent que j'ai pu obtenir avec ma roue la plus élevée a été de quinze révolutions par minute; les graines soumises à cette rotation avec un décimètre de rayon ont dirigé leurs radicules vers la circonférence et leur plumule vers le centre. Les graines parcouraient ici neuf mètres quatre décimètres par minute. Le mouvement le plus rapide de la roue immédiatement située au-dessous était de quatre révolutions par minute. J'ai soumis des graines à cette rotation, avec un rayon de cinq décimètres : ici les graines parcouraient douze mètres quatre décimètres par minute, par conséquent leur mouvement était plus rapide

que dans l'expérience précédente; cependant la radicule ne se porta point vers la circonférence ni la plumule vers le centre; ces deux caudex se dirigèrent parallèlement à l'axe de rotation, lequel était incliné légèrement. La radicule se porta vers le côté descendant de l'axe et la plumule vers le côté ascendant; ce résultat, comme on le voit, est semblable à celui que j'avais obtenu en faisant tourner des graines sur elles-mêmes. Je recommençai l'expérience en plaçant l'axe dans une situation horizontale; alors les caudex séminaux affectèrent la direction particulière qui est produite par l'inégalité de la rotation; c'est-à-dire que toutes les radicules et toutes les plumules se dirigèrent perpendiculairement au même diamètre dans un plan vertical. Il me fut impossible de corriger cette inégalité de mouvement dans la roue dont il est ici question; en sorte que je ne sais pas d'une manière bien positive quel est le degré de vitesse de mouvement rotatoire sous l'influence duquel la plumule cesse de se porter vers le centre et la radicule vers la circonférence; toutefois ces expériences pourraient porter à penser que la direction de la radicule vers la circonférence, et celle de la plumule vers le centre, seraient produites plutôt par le nombre des révolutions dans un temps donné, que par l'étendue du chemin parcouru par la graine dans le même temps; on vient de voir en effet que des graines qui parcourent environ douze mètres par minute, en faisant quatre révolutions dans le même temps, ne dirigent point leur radicule vers la circonférence et leur plumule vers le centre, tandis que l'on observe cette double direction chez les graines qui ne parcourent qu'environ neuf mètres par minute, en faisant quinze révolutions dans le même temps. Mais ici il y a une observation importante à faire : la roue qui ne faisait que quatre révolutions par minute, éprouvait des saccades multipliées qui résultaient de l'engrenage des dents avec les pignons; ainsi son mouvement de rotation n'était point uniforme, c'était plutôt un transport circulaire opéré à des reprises multipliées. On conçoit que, dans cette circonstance, il ne devait point y avoir de force centrifuge; elle ne peut exister d'une manière sensible que dans un mouvement rotatoire continu; le même inconvénient n'existait pas lorsque j'employais la roue la plus élevée de mon mouvement d'horlogerie, à laquelle je pouvais faire exécuter depuis quinze jusqu'à quarante révolutions par minute, avec un rayon que je pouvais porter jusqu'à cinq décimètres : je supprimais son engrenage avec le volant. Les ballons de verre situés sur leur roue verticale à long rayon, servaient alors de régulateurs pour le mouvement de rotation, qui était continu et complétement exempt de saccades. On conçoit que, dans cette circonstance, rien ne s'opposait au développement de la force centrifuge, et ceci explique d'où vient la différence qui a été signalée plus haut.

Lorsque le mouvement de rotation est lent, et que par conséquent la force centrifuge est insuffisante pour opérer la direction des caudex séminaux, ceux-ci subissent l'influence de la pesanteur, tantôt en se dirigeant parallèlement à l'axe, lorsque cet axe est incliné à l'horizon, tantôt en prenant la direction particulière qui résulte de l'inégalité de la rotation. Lorsque le mouvement rotatoire s'effectue avec une vitesse modérée, l'axe étant un peu incliné, et qu'en même temps la rotation est inégale, les caudex séminaux affectent des directions variées : tantôt on voit, par exemple, toutes les radicules affecter une direction semblable, qui est la direction moyenne résultant des trois forces qui les sollicitent; tantôt on voit ces radicules subir chacune en leur particulier l'influence exclusive de l'une quelconque de ces trois forces, sans qu'il soit possible de savoir d'où provient cette irrégularité dans ces effets, sous l'influence d'un même assemblage de causes. Les plumules sont, à cet égard, encore plus irrégulières que les radicules; il est rare que, dans cette circonstance, la plumule prenne la direction diamétralement opposée à celle de la radicule; souvent elle semble errer au hasard, souvent

même elle se dirige dans le même sens que la radicule. Cela s'observe spécialement lorsque, la rotation étant fort lente, et l'axe étant horizontal, les caudex séminaux subissent seulement l'influence d'une faible inégalité dans le mouvement rotatoire.

Les deux caudex séminaux sont absolument indépendants l'un de l'autre pour leur direction; on peut supprimer l'un quelconque de ces deux caudex sans que le caudex opposé cesse pour cela d'affecter la direction qui lui est propre; cette direction spéciale n'appartient qu'à l'axe du végétal, lequel axe est représenté par l'assemblage rectiligne de la tigelle et de la radicule; j'ai vu, en effet, que les racines produites latéralement par la radicule *centrifuge* ne se dirigent point comme elle vers la circonférence lorsqu'elles sont soumises à une rotation rapide. Elles font avec cette radicule *centrifuge* un angle plus ou moins ouvert et quelquefois même un angle droit. Ces racines latérales se comportent, dans ce dernier cas, comme les racines qui croissent horizontalement dans le sol, affectant ainsi une direction perpendiculaire à celle de la radicule *pivotante*. J'ai fait voir plus haut (page 302) que cette direction horizontale des racines provient de l'égalité qui existe dans le volume de leurs deux systèmes cortical et central. C'est par la même raison que ces racines, lorsqu'elles sont soumises au mouvement de rotation affectent une direction perpendiculaire à celle de la racine *centrifuge* de laquelle elles émanent.

Le procédé au moyen duquel j'ai fait mes expériences ne m'a pas permis de répéter une expérience très-curieuse de M. Knight. Cet observateur ayant fixé des graines de haricot à la circonférence d'une roue de 11 pouces de diamètre que l'eau faisait mouvoir, observa le développement des tiges qui, en s'allongeant gagnèrent le centre de la rotation; il avait eu soin de les attacher aux rayons de la roue; sans cette précaution, ces tiges, grêles et flexibles auraient été, ou brisées, ou déviées de leur direction par l'effet de leur pesanteur. Lorsque, par leur accroissement progressif, ces tiges eurent un peu dépassé le centre de la rotation, elles se recourbèrent et ramenèrent leurs sommets vers ce même centre, unique but de leur tendance constante. Si je n'ai pu répéter cette expérience, en revanche il m'a été possible d'en faire plusieurs autres que M. Knight ne pouvait pas entreprendre avec son appareil. J'ai voulu voir si les feuilles étaient susceptibles d'affecter une direction spéciale sous l'influence d'un mouvement de rotation rapide. Cette expérience était facile avec mon appareil; il ne s'agissait que de renfermer des tiges munies de feuilles dans des ballons de verre, de les fixer solidement dans leur intérieur, et de soumettre ces ballons à un mouvement de rotation rapide. Je plaçai donc dans un ballon de verre une tige de *convolvulus arvensis,* munie de quatre feuilles; j'avais choisi pour cet effet les feuilles les plus petites qu'il m'avait été possible de trouver, afin de pouvoir employer des ballons de verre d'une médiocre dimension, et, par conséquent, afin d'obtenir une rotation rapide, à laquelle il m'eût été impossible de soumettre des ballons volumineux, à cause de leur pesanteur. La tige grêle et flexible du *convolvulus* était attachée avec un fil à une tige de fer de peu de grosseur, que j'introduisis ensuite dans le ballon de verre, dont je fixai les deux extrémités aux ouvertures opposées de ce ballon, dans lequel je mis seulement une ou deux cuillerées d'eau. Un second ballon de verre fut préparé de la même manière, et je plaçai ces deux ballons aux deux extrémités d'un même diamètre, sur une roue qui avait cinq décimètres de rayon, et qui faisait quarante révolutions par minute. Les tiges des plantes étaient perpendiculaires au plan de la roue, en sorte que pendant la rotation elles étaient toujours dans une situation horizontale; ainsi, elles ne touchaient point à l'eau, qui occupait toujours la partie la plus basse des ballons de verre; les feuilles n'y touchaient point non plus, cependant elles ne tardèrent point à être mouillées par l'eau vaporisée dans l'intérieur des

ballons qui étaient bouchés, et cela suffit pour entretenir leur vie et leur fraîcheur. Les feuilles placées au hasard affectaient des directions variées par rapport au plan de rotation. Au bout de dix-huit heures, toutes les feuilles soumises à l'expérience avaient dirigé leur face supérieure vers le centre de la rotation, et par conséquent leur face inférieure se trouva dirigée vers la circonférence; ce retournement s'était opéré au moyen de l'inflexion des pétioles. Je soumis à la même expérience des feuilles de violette (*viola odorata*) et des feuilles de fraisier (*fragaria vesca*); je choisis pour cela les feuilles les plus petites qu'il me fut possible de trouver par rapport à la grandeur du limbe, mais dont cependant le pétiole était assez long. Les feuilles de violette n'avaient que six lignes de largeur dans leur limbe; les folioles des feuilles de fraisier n'étaient larges que de quatre lignes. On en rencontre fréquemment de pareilles chez ces plantes à l'état sauvage et lorsque leur végétation est faible; ces feuilles tenaient à leurs racines que j'avais arrachées et que j'attachai avec un fil, chacune à une tige de fer : je plaçai diamétralement ces tiges de fer chacune dans l'intérieur de l'un de mes ballons de verre disposés comme dans l'expérience précédente. Au bout de vingt-quatre heures de rotation par un temps très-chaud, toutes les feuilles avaient dirigé leur face supérieure vers le centre, et par conséquent leur face inférieure vers la circonférence. La cause de ce phénomène est essentiellement la même que celle à laquelle est due la direction de la jeune tige des embryons séminaux vers le centre de la rotation. Soit, en effet, une feuille C (fig. 5, pl. 17) dont le pétiole est fixé par sa base à la circonférence d'une roue, et dont le limbe fort petit et très-léger se trouve ainsi avoir sa face inférieure dirigée vers le centre de la roue; cette feuille, étant placée dans l'intérieur d'un ballon de verre, lequel n'est pas représenté ici, se trouve à l'abri de toute action impulsive de la part de l'air qui est rapidement déplacé par l'action du mouvement de rotation; elle peut par conséquent, prendre librement et sans obstacle la direction qu'elle sera sollicitée à suivre. Si l'on n'avait égard ici qu'aux lois physiques du mouvement, le limbe de la feuille, en vertu de sa pesanteur obéirait à la force centrifuge, et tendrait à s'éloigner du centre de la rotation; or, ici c'est l'inverse qui a lieu; le limbe de la feuille se porte vers le centre de la rotation, comme on le voit en D, et cela au moyen de l'inflexion profonde de son pétiole; il y a donc dans ce pétiole une action d'incurvation qui dirige vers le centre le sommet de ce même pétiole avec le limbe léger qu'il supporte, et cela malgré la force centrifuge qui tend naturellement à éloigner ce même limbe du centre. Il est évident que, dans cette circonstance, le pétiole se comporte de la même manière que le fait une tige sous l'influence du mouvement de rotation; son sommet tend, comme celui d'une tige, vers le centre de la rotation, et, par l'inflexion que prend ce pétiole, il dirige la face supérieure du limbe vers ce même centre. Ainsi ce n'est point le limbe qui se dirige, il est dirigé passivement par l'incurvation du pétiole. Pour que ce phénomène ait lieu, il faut que la force d'incurvation du pétiole, force qui tend à rapprocher le limbe du centre, soit, dans cette circonstance, supérieure à la force centrifuge qui tend à éloigner du centre ce même limbe : il faut donc ce que ce limbe soit fort léger; s'il était plus lourd il obéirait à la force centrifuge qui ne pourrait être surmontée par la force d'incurvation du pétiole; aussi n'ai-je obtenu le phénomène que je viens d'exposer qu'avec des feuilles à limbe fort léger, les feuilles dont le limbe était plus pesant s'y sont refusées. Au reste le mécanisme du retournement des feuilles sous l'influence du mouvement de rotation est nécessairement le même que celui du retournement des feuilles par le seul effet de la pesanteur. Bonnet a observé en effet, et j'ai expérimenté après lui, que les feuilles renversées tendent à se retourner quoique placées dans la plus profonde obscurité; on sait que c'est ordinairement l'in-

fluence de la lumière qui détermine ce retournement des feuilles ; s'il tend à s'effectuer aussi dans l'obscurité, cela provient de ce que l'action de la pesanteur agissant sur le pétiole comme elle agit sur une tige, elle provoque de même son inflexion vers le ciel lorsqu'il a été antérieurement incliné vers la terre ; dans cette dernière position, le limbe de la feuille a sa face supérieure dirigée vers la terre : or, le pétiole en se fléchissant vers le ciel reporte vers ce dernier la face supérieure du limbe, lequel est passif dans ce mouvement. On voit facilement ainsi que le retournement des feuilles, sous l'influence de la force centrifuge produite par le mouvement de rotation, est un phénomène tout semblable à celui de leur retournement sous l'influence de la pesanteur ; il n'en diffère que par la nature de la force qui le détermine.

C'est parce que le pétiole possède une structure intérieure analogue à celle d'une tige, que sa tendance à l'incurvation porte de même son sommet vers le centre de la rotation ; une partie appartenant à la tige et qui posséderait par anomalie une structure intérieure analogue à celle des racines, se courberait comme ces dernières sous l'influence de la force centrifuge produite par le mouvement de rotation, c'est-à-dire que cette partie de tige dirigerait son sommet vers la circonférence. C'est effectivement ce que j'ai expérimenté avec les tiges fleuries de la bourrache (*borago officinalis*). Les fleurs de cette plante ont toujours l'ouverture de leur corolle dirigée vers la terre. J'ai attribué plus haut (p. 302) cette tendance spéciale à ce que le pédoncule de cette fleur est influencé par l'action de la pesanteur, comme le serait une racine ; d'après cela, il devait se comporter de même sous l'influence du mouvement de rotation. C'est effectivement ce qui est arrivé. J'ai renfermé dans deux ballons de verre des tiges fleuries de bourrache. J'ai fixé ces ballons de verre à la circonférence d'une roue de trente-deux centimètres de rayon, laquelle faisait trente-six révolutions par minute. Les tiges étaient placées de manière que leur partie inférieure était dirigée vers le centre de la roue : les ouvertures des corolles regardaient par conséquent aussi ce même centre, car les pédoncules des fleurs conservaient leur courbure à l'aide de laquelle cette direction des corolles vers la partie inférieure de la tige avait lieu dans l'état naturel. Au bout de seize heures de rotation, tous les pédoncules furent redressés, et les ouvertures des corolles furent dirigées vers la circonférence. Ces pédoncules s'étaient donc comportés dans cette circonstance comme des racines, et cela devait être, puisqu'ils possèdent les conditions organiques en vertu desquelles les racines prennent une direction semblable.

Les racines et les tiges soumises à l'influence de la pesanteur ou soumises à l'influence de la force centrifuge se comportent, par rapport à la force qui les sollicite, d'une manière exactement semblable. Les racines se dirigent dans le sens de la direction de chacune de ces deux forces ; les tiges se dirigent dans le sens opposé à la direction de chacune de ces deux forces. D'après cette considération, il devient évident que la théorie des inflexions que prennent les tiges et les racines doit être la même dans ces deux cas. C'est même par l'observation des effets de la rotation sur les graines en germination que M. Knight fut conduit à émettre sa théorie sur la cause de l'ascension des tiges et de la descente des racines. Il pense que la matière organique qui opère l'accroissement terminal de la racine obéit à l'impulsion de la force centrifuge, comme le ferait un corps inerte ; il n'a point vu que cela n'est point ainsi, puisque une radicule d'embryon séminal droite et placée tangentiellement à la circonférence d'une roue qui tourne, se courbe dans sa longueur pour diriger sa pointe vers le dehors du cercle. Il pense que la courbure qu'affecte la plumule de l'embryon séminal pour se diriger vers le centre de la rotation à laquelle il est soumis, provient de ce que la sève est projetée dans le côté de cette plumule qui est op-

posé au centre de la rotation, et qu'elle y détermine localement une augmentation de nutrition et d'allongement, d'où résulte sa courbure vers le centre de la rotation. Sa théorie, relativement aux effets de la force centrifuge sur les graines en germination, se trouve ainsi en harmonie avec sa théorie sur les effets de la pesanteur sur ces mêmes graines. Or les raisons qui infirment cette dernière théorie infirment également la première. Quant à moi, j'envisage ces effets de la force centrifuge sur la radicule et sur la plumule des embryons séminaux de la même manière que j'ai envisagé les effets de la pesanteur sur ces mêmes caudex végétaux. Voici comment je détermine la cause de cette double direction sous l'influence de la force centrifuge. Les deux caudex opposés d'un embryon séminal en germination A (fig. 5, planche 17) sont disposés tangentiellement à la circonférence d'une roue qui tourne rapidement sur son axe; la force centrifuge projette la séve la plus dense vers le côté extérieur *b d* de la jeune tige et de la radicule; de là résulte l'affaiblissement de la force d'incurvation de ce côté et la prédomination de force d'incurvation du côté opposé *a a*, et cela par le mécanisme que j'ai indiqué plus haut, lorsque c'était la pesanteur qui portait la séve la plus dense dans le côté inférieur de la jeune tige et de la radicule couchées horizontalement sur le sol. Dès lors, le côté *a* de la tige, dont la force d'incurvation est prédominante et qui tend à se courber en dehors, dirige le sommet de la tige vers le centre de la rotation, comme on le voit en B; le côté *a* de la radicule dont la force d'incurvation est également prédominante et qui tend à se courber en dedans dirige la pointe de la radicule dans une direction opposée à celle de la tige.

La récapitulation des expériences précédentes offre les résultats suivants :

1° Lorsqu'une graine en germination est située à la circonférence d'une roue soit verticale, soit horizontale, qui tourne rapidement, la force centrifuge détermine l'inflexion de la radicule vers la circonférence concentrique d'un cercle plus grand et détermine l'inflexion de la jeune tige vers le centre de la roue.

2° Lorsqu'une graine en germination est située à la circonférence d'une roue horizontale qui tourne avec une vitesse médiocre, la radicule et la plumule se dirigent obliquement entre la position horizontale que tend à leur donner la force centrifuge et la position verticale que la pesanteur tend à leur faire prendre.

3° Lorsqu'une graine en germination est située au centre d'une roue verticale et tourne ainsi sur elle-même, ou bien lorsqu'elle est située à la circonférence d'une roue verticale dont la rotation est lente, et que dans l'une et l'autre circonstances l'axe de la rotation est incliné, même d'une manière peu sensible, la radicule de la graine située sur l'axe se dirige vers la partie descendante de cet axe et la plumule vers sa partie ascendante; la radicule et la plumule de la graine située à la circonférence prennent une direction parallèle à l'axe; la première dans le sens de la descente de cet axe, et la seconde dans le sens de son ascension. Ces directions spéciales sont opérées par l'influence de la pesanteur, parce que la force centrifuge est nulle.

4° Lorsque la graine en germination est située soit au centre, soit à la circonférence d'une roue verticale dont l'axe est horizontal et dont la rotation est inégale, les radicules se dirigent toutes parallèlement à celui des rayons de cette roue dont l'extrémité circonférentielle est en bas au moment de la plus grande lenteur de la rotation. Les plumules prennent toutes la direction inverse. La découverte des deux premiers résultats appartient à M. Knight. La découverte des deux derniers m'appartient.

XIII.

DE LA TENDANCE DES VÉGÉTAUX

A SE DIRIGER VERS LA LUMIÈRE,

ET

DE LEUR TENDANCE A LA FUIR [1].

L'un des phénomènes les plus importants de la végétation, est celui de la tendance des parties végétales, tantôt à se diriger vers la lumière, tantôt à se diriger dans le sens opposé à celui de son afflux, en sorte qu'alors elles semblent la fuir. La première de ces tendances, celle qui porte les parties végétales vers la lumière, est celle que l'on observe le plus généralement. Ainsi, lorsqu'une tige est privée en partie sur l'un de ses côtés de cette lumière qui frappe avec plus d'intensité le côté opposé, elles se courbe pour se diriger vers le côté par lequel la lumière est le plus abondamment affluente. C'est pour cela qu'un arbre planté près d'une muraille élevée, tend à s'en éloigner; il se dirige alors vers la partie du ciel de laquelle il reçoit le plus de lumière. C'est le même phénomène que présente une plante renfermée dans un appartement et qui dirige sa tige vers la fenêtre. Mais, outre cette tendance bien évidente vers la lumière, les végétaux en manifestent une autre, non moins évidente quoique bien moins commune, à fuir la lumière. La découverte de cet important phénomène appartient à M. Knight [2]; elle date déjà de loin et cependant elle n'est pas encore introduite comme vérité dans la physiologie végétale, M. Knight a été conduit à cette découverte par l'observation de la direction que prennent les *vrilles* des plantes grimpantes. Ces vrilles se portent vers les corps solides qui les avoisinent comme si elles étaient attirées par eux. Or, M. Knight a prouvé par l'expérience que ce phénomène de tendance spéciale était dû à ce que les *vrilles*, fuyant la lumière, se portaient vers les corps opaques qui les avoisinaient; frappées par une lumière vive et directe du côté opposé au corps opaque, ne recevant de ce dernier qu'une lumière faible et réfléchie, ces vrilles se portaient vers ce corps, parce qu'elles fuyaient la lumière la plus vive. Aussi M. Knight a-t-il vu qu'en présentant à ces vrilles un miroir qui leur ren-

[1] Ce mémoire reçoit ici sa première publication.

[2] On the motions of the tendriels of plants. Philosophical transactions. 1812.

voyait une vive lumière, il les déterminait à se mouvoir pour s'en éloigner. C'est spécialement sur les vrilles de la vigne vierge (*ampelopsis quinquefolia*) que M. Knight a fait ces observations et ces expériences. Il en a fait de semblables sur les *mains* de la vigne et sur les vrilles du *pisum sativum*.

Je ne connaissais point ces expériences de M. Knight, lorsqu'en 1824 je publiai mes expériences sur la germination de la graine du gui (*viscum album*). On sait depuis longtemps que la graine du gui en germination dirige sa radicule dans toutes les directions. Cette graine enveloppée dans une pulpe glutineuse se colle aux branches des arbres dans la position que le hasard lui donne : tantôt elle se trouve collée sur la face supérieure d'une branche horizontale, tantôt elle se trouve fixée sur la partie latérale. Or, voici ce que l'on observe. Le premier développement de l'embryon séminal du gui, consiste dans une *élongation intermédiaire* de sa tigelle, qui puise sa matière nutritive dans la substance des cotylédons situés à son sommet. Ces cotylédons étant invariablement fixés à la branche, la tigelle en éloigne progressivement son extrémité inférieure qui est terminée par un petit renflement hémisphérique d'un vert pâle. Ce petit renflement est la radicule. Son extrême brièveté fait qu'elle ne peut prendre par elle-même aucune inflexion pour se diriger ; c'est la seule inflexion de la tigelle qu'elle termine inférieurement, qui lui donne la direction qu'elle doit affecter. Or, l'inflexion de la tigelle s'opère toujours de manière à diriger la radicule hémisphérique qui la termine vers la branche sur laquelle la graine est collée ; ainsi cette inflexion est descendante lorsque la graine est sur une branche horizontale ; elle est ascendante lorsque la graine est située sous cette même branche horizontale ; enfin, sa direction est horizontale lorsque la graine est fixée sur une branche verticale. Lorsque la radicule touche la surface de la branche, elle s'épanouit dessus en une sorte de disque, résultat de l'aplatissement du tubercule hémisphérique qui la constituait. C'est de la partie de ce disque qui est collée sur la branche que sortent les racines qui vont puiser leur nourriture dans la substance de la branche qui porte cette plante parasite. Existe-t-il dans cette circonstance une tendance de la radicule vers les parties vivantes du végétal dans lequel elle doit s'implanter ? Pour éclaircir ce doute, j'ai fixé des graines de gui sur du bois mort, sur des pierres, sur des corps métalliques, sur du verre, etc. ; toujours j'ai vu la radicule prendre une direction perpendiculaire au plan sur lequel la graine était collée. Je fixai un grand nombre de graines de gui sur la surface d'un gros boulet de fer ; toutes les radicules se dirigèrent vers le centre du boulet.

Ayant observé que la radicule de l'embryon séminal du gui ne se dirigeait point vers les corps solides, lorsqu'ils étaient trop éloignés de la graine en germination et qu'elle ne se dirigeait point non plus vers les fils déliés sur lesquels la graine était fixée, je fus d'abord conduit à penser que l'attraction des corps était la cause de cette direction de la radicule, en sorte que l'attraction particulière de ces corps aurait agi sur cette radicule comme l'attraction du globe terrestre agit sur la radicule des autres embryons séminaux pour déterminer sa direction vers le centre de la terre. J'étais dans l'erreur à cet égard, et je ne tardai pas à m'apercevoir que la direction que prenait dans toutes les circonstances la radicule du gui par l'inflexion de sa tigelle provenait de la tendance que possédait cette tigelle à fuir la lumière. Ayant tendu un fil vis-à-vis d'une fenêtre dans l'intérieur d'un appartement, j'y collai des graines de gui ; elles ne tardèrent pas à germer, et je vis toutes les tigelles se fléchir pour diriger les radicules vers le fond de l'appartement. J'ai collé plusieurs de ces graines sur les carreaux de vitre en dedans de l'appartement ; toutes les radicules se sont dirigées vers le fond de cet appartement. J'avais en même temps collé un pareil nombre de ces graines en dehors, sur la face opposée du même car-

reau de vitre; toutes les radicules se dirigèrent vers la surface de ce carreau. J'ai retourné quelques-unes de ces graines, et je les ai placées en sens inverse de celui qu'elles avaient pris naturellement : les graines de l'intérieur dont j'avais dirigé les radicules vers le carreau de vitre ne tardèrent point à ramener ces mêmes radicules vers l'intérieur de l'appartement; les graines de l'extérieur dont j'avais dirigé les radicules vers les objets du dehors ramenèrent en même temps ces mêmes radicules vers la surface du carreau de vitre. Il est de la plus grande évidence que, dans ces diverses expériences, la tigelle du gui se fléchit vers le côté le moins éclairé, et qu'elle n'obéit ici qu'à sa seule tendance à fuir la lumière ou à se diriger dans le sens opposé à celui de son afflux. La lumière directe ne possède pas seule le pouvoir de déterminer ce mouvement rétrograde de la tigelle du gui. La lumière réfléchie par les objets terrestres produit le même effet : je m'en suis assuré par l'expérience suivante : j'ai pris un tube de bois fermé à l'un de ses bouts par une lame de verre, et recouvert à l'autre bout par un couvercle de bois fermant exactement; j'ai collé plusieurs graines de gui sur la face intérieure de la lame de verre, et j'ai suspendu le tube verticalement sous l'abri du toit d'une fenêtre en mansarde, et de manière à ce que l'extrémité de ce tube qui était fermée par la lame de verre fût en bas : ainsi l'intérieur du tube n'était éclairé que par la lumière que réfléchissaient les objets terrestres. Les tigelles des graines de gui mises en expérience se dirigèrent toutes verticalement vers le ciel, fuyant ainsi la lumière qui leur arrivait de bas en haut. Il était intéressant de savoir si cette tendance singulière de la tigelle du gui était le résultat d'une répulsion exercée sur elle par la lumière. Je pris une graine de gui que j'avais fait préalablement germer sur un fil et vis-à-vis de la lumière. Cette graine portait deux embryons dont les tigelles étaient fléchies du même côté. Je fixai cette graine germée à l'une des extrémités d'une aiguille de cuivre construite comme une aiguille de boussole et suspendue de même sur un pivot. Une petite boule de cire placée à l'autre extrémité de l'aiguille formait contre-poids. Je couvris d'un récipient de verre cet appareil que je plaçai auprès d'une fenêtre que n'éclairaient point les rayons directs du soleil, et j'eus soin de diriger les deux radicules vers la lumière. Au bout de quelques jours, ces deux radicules changèrent de direction, et se dirigèrent vers le fond de l'appartement, sans faire éprouver aucun changement à la direction de l'aiguille. Cette expérience me prouva que la tigelle du gui fuit la lumière par un mouvement spontané, et non par l'effet d'une répulsion qui serait exercée sur elle; car une force extérieure qui serait capable de fléchir la tigelle de l'embryon du gui serait bien plus que suffisante pour opérer un changement de direction dans l'aiguille extrêmement mobile qui portait cet embryon. Cette expérience est fort délicate, et demande, pour réussir, des précautions particulières. Il faut que l'appareil soit mis à l'ombre, car si le récipient était échauffé par les rayons du soleil, il communiquerait à l'air qu'il contient un mouvement qui se ferait sentir à l'aiguille; il faut que cette expérience soit faite par un temps chaud, car la germination de la graine du gui ne s'opère qu'avec une extrême lenteur lorsque le thermomètre de Réaumur n'est pas au moins à quinze degrés au-dessus de zéro. Comme il est facile de trouver des graines de gui mûres de l'année précédente jusque vers le milieu de l'été, j'ai pu faire l'expérience dont il s'agit pendant les jours les plus chauds de cette saison. Malgré ces précautions, mon expérience a quelquefois été dérangée par une autre cause. La glu qui enveloppe la graine est fort hygrométrique; l'eau qu'elle absorbe de l'atmosphère ou qu'elle lui livre augmente ou diminue son poids; en sorte que, suspendue à l'une des pointes d'une aiguille mobile, elle fait éprouver à cette dernière des mouvements de bascule qui peuvent un peu déranger sa direction; aussi m'a-t-il fallu répéter plusieurs fois l'expérience pour la voir réussir à souhait.

Pour compléter mes observations sur la germination du gui, il me restait à observer la tendance qu'affecterait sa tigelle dans l'obscurité. J'ai collé des graines de gui germées sur un cylindre de bois que j'ai placé dans une obscurité parfaite. Leurs tigelles ne manifestèrent aucune tendance vers ce corps solide vers lequel elles se seraient certainement dirigées si elles avaient été placées à la lumière. Le défaut de lumière les fit mourir au bout de quelque temps. Ainsi il demeure bien prouvé que c'est en vertu de sa seule tendance à fuir la lumière que la tigelle de l'embryon séminal du gui se fléchit vers les corps solides et opaques qui l'avoisinent, et que l'attraction de ces corps ne joue aucun rôle dans ce phénomène. La tigelle se fléchit vers les corps opaques, parce que c'est de leur côté qu'il lui arrive le moins de lumière; elle fuit la lumière plus vive qui lui arrive du côté opposé.

Dans les observations que je viens de rapporter sur la graine du gui, je n'ai point parlé de la direction de la plumule, parce que ce n'est qu'un an après la germination qu'elle se développe; il ne se manifeste d'abord du caudex ascendant de l'embryon du gui que la portion de la tige qui est comprise entre l'insertion des cotylédons et l'origine de la radicule, c'est-à-dire la tigelle. La plumule, située entre les cotylédons, reste pendant la première année à l'état rudimentaire, et ne prend ainsi aucune direction particulière pendant la germination; les cotylédons eux-mêmes, fixés sur les corps au moyen de la glu qui les environne, n'ont aucune liberté pour prendre une direction quelconque; ce n'est que dans le printemps de la seconde année que les cotylédons desséchés se détachent de la tige qui commence à développer ses premières feuilles.

Les faits que je viens de rapporter et qui prouvent que la tigelle de l'embryon séminal du gui possède une tendance à fuir la lumière, viennent à l'appui des observations de M. Knight, observations qui établissent également l'existence de cette tendance à fuir la lumière chez certains autres végétaux. Cet assemblage de preuves établit définitivement sur des bases inébranlables cette vérité physiologique, qu'il y a des caudex végétaux qui fuient la lumière. C'est à ce phénomène de fuite de la lumière qu'il faudra attribuer généralement les tendances par lesquelles certains végétaux s'approchent des corps solides et opaques qui les avoisinent. C'est ce phénomène que présentent toutes les plantes grimpantes volubiles ou non volubiles, lesquelles au lieu de s'éloigner des murailles ou des autres corps solides dont elles sont voisines, s'en approchent au contraire, agissant ainsi en sens inverse de la plupart des autres plantes qui *fuient les abris*, selon l'expression très-inexacte de Bonnet. C'est cette cause qui fait, par exemple, que la tige du lierre s'applique sur le tronc des arbres ou sur les murailles. Cette tendance des plantes grimpantes vers les corps solides et opaques qui les avoisinent avait jadis été constatée par Mustel [1]. « Rien ne m'a paru si singulier, « dit cet observateur, que les expériences « que j'ai faites sur la plante nommée « *apios americana*... On est dans l'usage « de lui donner des perches très-élevées, « comme on en donne au houblon, et « bientôt elle s'y accroche. L'ayant déta« chée et éloignée de la perche du côté « du nord, elle s'y était accrochée dès le « lendemain; l'en ayant détachée et mis la « la perche du côté du midi, elle ne tarda « pas à se retourner de ce côté, et je l'y « trouvai attachée. Enfin, de quelque côté « que je misse la perche, elle ne manquait « jamais d'aller trouver son appui et de « s'y entortiller. Ayant mis deux perches « à côté de cette plante dont j'éloignai da« vantage celle qui était du côté où elle « inclinait, elle se redressa pour s'atta« cher à l'autre qui était plus près d'elle. » Mustel se contente de consigner cette observation dans son ouvrage, sans rechercher pourquoi la plante grimpante se dirigeait ainsi vers les corps solides qui l'avoisinaient. Ces observations, qui sont plei-

[1] Traité théorique et pratique de la végétation, tome 1, page 161.

nement d'accord avec celles de M. Knight, prouvent d'une manière certaine la tendance de la tige des plantes grimpantes vers les corps solides et opaques. Cette tendance, cependant, a été mise en doute par M. de Candolle [1]. Son existence, en effet, est loin de pouvoir s'accorder avec la théorie que cet illustre botaniste a émise touchant la cause de la tendance des tiges des végétaux vers la lumière, théorie qui sera exposée plus bas. Cependant, cette tendance des plantes grimpantes vers les corps solides et opaques est extrêmement facile à voir. J'ai détaché du tronc d'un arbre le sommet encore herbacé d'une tige de lierre, et je l'ai maintenu éloigné de l'arbre à la distance d'un pouce. Six heures après, cette tige de lierre était revenue s'appliquer sur le tronc de l'arbre vers lequel elle s'était infléchie. Cette inflexion était le résultat de sa tendance à fuir la lumière, comme le prouvent les expériences suivantes : Je pris une tige de houblon (*humulus lupulus*) et une tige de grand liseron (*convolvulus sepium*), que je mis tremper par le bas dans deux flacons pleins d'eau. Je mis ces tiges dans un appartement et près de la fenêtre, qui était assez petite. J'avais dirigé le sommet de ces tiges vers la lumière qui venait de cette fenêtre. Cette expérience fut établie le matin. Dans le courant de la journée, les sommets des tiges de ces deux plantes se recourbèrent vers le fond de l'appartement, fuyant ainsi la lumière qui venait de la fenêtre. Pendant la nuit suivante, les deux tiges revinrent à leur direction primitive vers la fenêtre; elles se recourbèrent de nouveau vers le fond de l'appartement dans le courant de la journée suivante. Ce double phénomène cessa d'avoir lieu pendant les jours suivants; cela provenait probablement de ce que la vitalité de la plante s'était altérée; les tiges demeurèrent dirigées vers la fenêtre : c'était pour ces tiges l'état organique acquis avant l'expérience ou pendant qu'elles étaient dans leur position naturelle; elles y revenaient par élasticité dans l'absence de la lumière dont l'influence transitoire les avait contraintes à se courber vers le fond de l'appartement, elles fuyaient alors la lumière. Ayant perdu une partie de leur vitalité, elles perdirent en même temps leur tendance à fuir la lumière, et alors elles reprirent par élasticité et conservèrent constamment la direction qui était le résultat de leur état organique acquis avant l'expérience. Bonnet [2] cite une observation analogue, mais dont les résultats sont inverses, touchant de jeunes haricots qui, placés dans une serre, se courbaient pendant le jour vers la lumière et reprenaient pendant la nuit leur rectitude précédemment acquise. Ces observations prouvent : 1° que certaines tiges végétales fuient la lumière, et que c'est pour cela qu'elles s'appliquent sur les corps solides et opaques; 2° que l'inflexion des tiges ou vers la lumière, ou dans le sens opposé à celui de son afflux, est le résultat d'une action physiologique d'incurvation, d'où il résulte que cette incurvation n'est point nécessairement stable, comme elle le serait si elle dérivait d'un excès d'accroissement en longueur dans un des côtés de la tige. C'est un phénomène qui se rattache à celui que présentent les autres actions physiologiques d'incurvation chez les plantes *excitables*. L'incurvation prise par une tige pour *rechercher* ou pour *fuir* la lumière devient stable sans doute par suite de sa durée prolongée, mais elle n'est point telle tant que le tissu de la tige n'a point acquis une certaine solidité; tant que la tige demeure à l'état herbacé qui constitue son état primitif ou naissant, elle demeure susceptible de se courber dans un sens ou un autre sous l'influence de la lumière.

C'est sans doute à la tendance à fuir la lumière, qu'il faut attribuer le phénomène observé depuis longtemps de l'inflexion de la tige de certains arbres résineux vers le nord, c'est-à-dire vers la partie du ciel de laquelle il émane le moins de lumière, dans l'hémisphère boréal. Ces mêmes arbres courberaient le sommet de leur tige

[1] Physiologie végétale.
[2] Recherches sur l'usage des feuilles (II° Mémoire).

vers le midi dans l'hémisphère austral.

Les racines n'affectent ordinairement aucune tendance ni pour rechercher la lumière, ni pour la fuir. On peut s'en assurer en faisant développer les racines d'une plante quelconque dans un vase de verre rempli d'eau et exposé à la lumière. Les racines se développent dans l'eau et se portent dans toutes les directions, sans que la lumière influe sur la manière dont elles se dirigent. Cependant il est une circonstance dans laquelle la lumière exerce de l'influence sur la direction des racines, c'est lorsqu'elles se colorent accidentellement en vert. L'expérience suivante m'a démontré l'existence de ce phénomène, fort important par les inductions que l'on en peut tirer. J'avais fait germer des graines de *mirabilis jalappa* dans de la mousse humide. En examinant les radicules qui avaient déjà acquis la longueur du doigt, je m'aperçus que leurs pointes ou leurs *spongioles* avaient une couleur verdâtre. Il me parut curieux d'expérimenter si la pointe de ces racines, à raison de sa couleur verte, serait influencée dans sa direction par l'influence de la lumière. Je plaçai donc plusieurs de ces graines germées à la surface de l'eau qui remplissait un bocal de verre. Une petite planche percée de trous laissait passer les racines qui plongeaient dans l'eau sans laisser passer les graines, ce qui maintenait les plumules naissantes dans l'air. J'enveloppai le bocal avec une étoffe noire, laissant seulement à cette étoffe une fente verticale étroite par laquelle la lumière pénétrait dans le bocal; ce dernier fut placé près d'une fenêtre, vers laquelle la fente verticale de l'étoffe enveloppante fut dirigée. La lumière directe du soleil éclairait le bocal dans le moment où j'établis cette expérience. Quelques heures après, ayant ôté l'étoffe enveloppante, je vis que les pointes de toutes les radicules s'étaient courbées en crochet pour se diriger vers la fente par laquelle la lumière avait eu accès dans l'intérieur du bocal. Je répétai la même expérience avec des graines germées dont les radicules n'avaient point leurs spongioles de couleur verte; ces radicules n'affectèrent aucune direction spéciale sous l'influence de la lumière. Cette expérience prouve que l'existence de la matière verte dans le tissu végétal est une des conditions que doivent posséder les caudex végétaux pour avoir la faculté de se diriger vers la lumière. Or, on sait que c'est par son action sur la matière verte que la lumière produit de l'oxygène gazeux dans le tissu végétal, et j'ai fait voir dans le VII[e] Mémoire, que cet oxygène gazeux produit par l'influence de la lumière, sert à la respiration du végétal. Or, puisque la direction des caudex végétaux vers la lumière n'a point lieu sans l'existence de la matière verte dans leur tissu, il en résulte que c'est dans l'acte de leur respiration que ces caudex végétaux trouvent la cause de leur inflexion sous l'influence de la lumière. Je reviendrai plus bas sur ce fait.

Le mécanisme par lequel la lumière détermine l'inflexion des tiges des végétaux n'a point encore été déterminé d'une manière satisfaisante. M. de Candolle est le seul qui ait tenté de résoudre une partie de ce problème, celle qui regarde le fait de l'inflexion des tiges vers la lumière; il regarde cette inflexion comme le résultat d'une différence dans l'accroissement des deux côtés opposés de la tige. Le côté qui est frappé par la lumière fixe plus de carbone dans son tissu que ne le fait le côté opposé. Aussi est-il ordinairement plus fortement coloré. Ce côté dans lequel le carbone se solidifie rapidement, s'accroît par conséquent moins que le côté opposé; ce dernier est en partie *étiolé*. Or, on sait que les plantes étiolées sont remarquables par l'excès de leur allongement. On conçoit fort bien, de cette manière, que le côté qui ne reçoit point directement la lumière s'allongeant plus que le côté qui en est frappé directement, il en résultera que la tige se courbera. Le côté frappé directement par la lumière étant le plus court, occupera la concavité de la courbure et la tige se trouvera ainsi fléchie vers la lumière. Cette explication est si ingénieuse et elle paraît en même temps si simple et si naturelle, qu'elle a dû entraîner la con-

viction de tous les physiologistes. Mais malheureusement c'est ici l'un de ces cas, où l'extrême probabilité ne se trouve point d'accord avec la vérité. L'inflexion des tiges sous l'influence de la lumière est quelquefois temporaire, et ne dure que pendant le temps que ces tiges subissent cette influence. On a vu en effet plus haut, que des tiges pendant le jour se fléchissaient ou vers la lumière, ou dans le sens contraire à celui de son afflux, et qu'elles revenaient pendant la nuit à leur position primitive. Ainsi, la flexion des tiges sous l'influence de la lumière est quelquefois variable dans d'assez courts intervalles de temps; or, on ne peut admettre qu'une tige qui est fléchie d'un côté pendant le jour et d'un autre côté pendant la nuit, et qui recommence le lendemain les mêmes inflexions successives, doive ces positions variables à des différences d'accroissement dans ses côtés opposés. En second lieu, si telle était, en effet, la cause de l'inflexion des caudex végétaux sous l'influence de la lumière, cet effet serait constant; il n'y aurait point de caudex végétaux qui fuient la lumière. Or, l'existence bien démontrée de ce fait prouve que l'influence de la lumière ne diminue point l'accroissement dans le côté sur lequel elle agit, puisqu'il faudrait ici admettre, au contraire, qu'elle y produirait un excès d'accroissement propre à déterminer dans la tige une courbure dont la convexité occuperait le côté frappé par la lumière. Aussi M. de Candolle a-t-il été porté par sa théorie à mettre en doute les expériences et les observations par lesquelles plusieurs observateurs ont cherché à établir que, dans certains cas, les tiges tendent à se fléchir vers les corps solides et opaques, c'est-à-dire du côté opposé à celui de l'afflux de la lumière. Or, l'existence incontestable de ce phénomène suffirait pour infirmer la théorie de M. de Candolle, quand bien même il n'y aurait pas des preuves directes à lui opposer. Voici l'une de ces preuves, elle est des plus décisives. Si l'inflexion d'une tige vers la lumière provenait de l'excès d'allongement de celui de ses côtés qui n'est point frappé par la lumière, ce serait ce côté qui seul agirait pour opérer la flexion de la tige. Le côté opposé, celui qui occupe la concavité de la courbure, serait passif dans cette circonstance. Or, c'est exactement l'inverse qui a lieu, ainsi que le prouve l'expérience suivante. Je prends une jeune tige herbacée quelconque, pourvu qu'elle soit douée de la faculté de se diriger vers la lumière, et l'ayant mise tremper dans l'eau par son extrémité inférieure afin d'entretenir sa vie et sa fraîcheur, je la place dans un appartement muni d'une seule petite fenêtre bien éclairée par le soleil. La jeune tige ne tarde pas à se courber vers la fenêtre. Je prends ici pour exemple une jeune tige de luzerne (*medicago sativa*, L.). La courbure de la tige vers la lumière étant opérée, comme on le voit dans la figure 1, planche 18, je retranche le sommet *s* de cette tige et je fends sa partie inférieure et courbée *a b* en deux moitiés longitudinales dans le sens de la courbure, ainsi que cela est représenté dans la figure 2. A l'instant de cette séparation, la moitié de tige *b* située du côté concave prend une courbure beaucoup plus profonde, tandis que l'autre moitié de tige *a* située du côté convexe se redresse d'abord et se courbe ensuite un peu en sens inverse. La ligne ponctuée *c d* indique la position courbée de la tige avant sa division en deux moitiés longitudinales. Il résulte de cette expérience que la flexion de la tige vers la lumière était opérée par l'action d'incurvation de la seule moitié longitudinale de tige *b*, laquelle recevait directement l'influence de la lumière; la moitié longitudinale de tige *a* située du côté opposé à l'afflux de la lumière tendait au contraire à résister à cette inflexion, puisqu'elle prend une courbure inverse, lorsqu'elle se trouve séparée de la moitié de tige *b* qui l'entraînait de force et *malgré elle* dans le mode d'incurvation qui lui est propre. Cette dernière moitié de tige *b*, se trouvant délivrée de la résistance qu'opposait à son incurvation vers la lumière, la moitié de tige *a*, se courbe beaucoup plus profondément. Cette expérience est décisive : elle

prouve que c'est la seule moitié concave *b* fig. 1, laquelle est dirigée vers la lumière qui est l'agent de l'inflexion de la tige vers la lumière; la moitié convexe *a* est tout à fait passive dans cette inflexion à laquelle même elle tend à s'opposer par sa tendance inverse à l'incurvation, en sorte que l'inflexion de la tige vers la lumière s'effectue suivant une courbe qui est la résultante de la force d'incurvation de la moitié de tige *b* moins la force antagoniste d'incurvation de la moitié de tige *a*. Dans la théorie de M. de Candolle, ce serait la moitié de tige *b* qui serait passive et qui serait courbée de force par l'excès d'allongement de la moitié de tige *a*, ce qui est formellement contraire à l'expérience. Cette théorie ne peut donc plus se soutenir. Ainsi ce ne sera plus dans l'excès d'accroissement ou d'allongement d'un des côtés de la tige qu'il faudra chercher la cause de son inflexion vers la lumière ou dans le sens opposé; ce sera dans la considération des tendances diverses à l'incurvation que possèdent les diverses parties constituantes de cette tige, et dans la considération de l'influence qu'exerce la lumière sur ces incurvations naturelles pour les fortifier ou pour les affaiblir.

Les incurvations végétales s'effectuent par l'action de deux tissus différents par leur texture comme par le principe de leur action; ces deux tissus incurvables sont le tissu cellulaire et le tissu fibreux, ainsi que je l'ai fait voir dans le xe Mémoire. Le tissu cellulaire à cellules décroissantes de grandeur, se courbe par implétion de liquide ou par endosmose. Le tissu fibreux à fibres décroissantes de grosseur, se courbe par implétion d'oxygène. J'ai fait voir l'existence de ce tissu fibreux incurvable par oxygénation, dans les corolles et dans les renflements moteurs des feuilles, et j'ai émis l'idée que ce tissu fibreux n'était autre chose que le tissu fibreux du bois ou de l'écorce encore à l'*état naissant,* état sous lequel ce tissu possède des propriétés qu'il perd en acquérant de la solidité (voyez page 253 — 254). L'expérience est venue confirmer cette idée.

Dans les tiges naissantes la partie ligneuse, ou plutôt fibreuse du système central, est ordinairement fort mince. C'est le tissu cellulaire médullaire qui y est prédominant. Cette partie fibreuse du système central est toujours disposée alors par faisceaux isolés dans les intervalles desquels pénètre le tissu cellulaire médullaire. Il résulte de cette disposition, qu'il est impossible d'obtenir isolé le tissu fibreux des tiges naissantes; une lame mince que l'on enlève sur ce tissu fibreux contient toujours du tissu cellulaire médullaire. Ce dernier tend toujours à se courber *en dehors* par turgescence, ou par l'implétion de liquide qu'y produit l'endosmose lorsqu'on le plonge dans l'eau. Or, comme l'endosmose a lieu aussi bien dans l'eau non aérée que dans l'eau aérée, il en résulte qu'en plongeant dans l'eau une lame mince du tissu fibreux dont il est ici question, cette lame ne manque jamais de se courber *en dehors* par endosmose. Mais l'expérience fait voir que l'incurvation de cette lame est beaucoup plus profonde quand on la plonge dans l'eau aérée que lorsqu'on la plonge dans l'eau non aérée. Le tissu fibreux naissant, tel qu'il existe dans les tiges très-jeunes, est donc véritablement *incurvable par oxygénation.* C'est évidemment, en effet, à l'oxygénation qu'est due l'incurvation très-profonde de la lame de tissu fibreux plongée dans l'eau aérée; son incurvation bien moins profonde dans l'eau non aérée, est due à la turgescence par endosmose du tissu cellulaire médullaire mêlé au tissu fibreux. Il résulte de ces considérations que, pour déterminer les causes qui produisent les inflexions des végétaux sous l'influence de la lumière, il faut étudier les influences qu'exerce la lumière sur la turgescence du tissu cellulaire et sur l'oxygénation du tissu fibreux. Or, ces influences sont bien connues. L'action de la lumière augmente la transpiration végétale; elle doit donc diminuer la turgescence cellulaire plus sur le côté de la tige qu'elle frappe directement que sur le côté opposé. La lumière en donnant lieu à la production de l'oxygène dans les parties

vertes, favorise par cela même la respiration végétale; elle doit donc favoriser l'oxygénation du tissu fibreux plus sur le côté de la tige qu'elle frappe directement que sur le côté opposé. Il résulte de là, que l'action de la lumière diminuera la force d'incurvation du tissu cellulaire et augmentera la force d'incurvation du tissu fibreux dans le côté ou dans la moitié longitudinale de tige qu'elle frappera directement. Je vais étudier ces deux effets séparément. Je commence par faire abstraction du tissu fibreux, en considérant la tige naissante comme composée par le seul tissu cellulaire.

Je pose en principe que lorsqu'on observe chez les caudex végétaux deux inflexions en sens inverse sous l'influence d'une même cause extérieure, cela atteste qu'il existe une certaine opposition d'organisation entre ces caudex dont les inflexions sont opposées. Ce principe que j'ai déjà déduit de l'observation du mécanisme qui préside aux deux inflexions opposées des tiges et des racines sous l'influence de la pesanteur, va trouver une nouvelle confirmation dans l'observation du mécanisme qui préside aux deux inflexions opposées des caudex végétaux sous l'influence de la lumière. Je vais faire voir en quoi consiste l'opposition d'organisation qui fait que certains caudex végétaux frappés par la lumière, tantôt se courbent vers elle, tantôt se courbent en sens contraire.

Chez les plantes herbacées et chez les tiges naissantes des végétaux ligneux, le système cortical est très-spécialement composé par la médulle corticale. J'ai fait voir dans le IIIe Mémoire (page 85), que cette médulle corticale offre deux ordres inverses de décroissement de grandeur dans ses cellules composantes; en partant du milieu de cette médulle ou de ce parenchyme cortical où se trouvent les cellules les plus grandes, ces organes vont en décroissant de grandeur vers le dehors et vers le dedans, en sorte qu'il y a là deux couches de cellules dont la tendance à l'incurvation est inverse. La couche extérieure tend par turgescence à se courber vers le dehors; la couche intérieure tend par turgescence à se courber vers le dedans. Or, suivant que l'une ou l'autre de ces deux couches cellulaires l'emportera en volume, leur assemblage tendra par turgescence à se courber dans le sens qui sera celui de l'incurvation de la couche prédominante. Le plus ordinairement, c'est la couche cellulaire intérieure qui l'emporte en volume, en sorte que le plus généralement l'écorce tend à se courber en dedans par turgescence; mais il arrive quelquefois que c'est la couche cellulaire la plus extérieure qui l'emporte en volume; alors l'écorce tend par turgescence à se courber en dehors. On s'assure de la direction de cette tendance de l'écorce à se courber vers le dedans ou vers le dehors, en détachant de cette écorce une lanière longitudinale que l'on plonge dans l'eau. Alors l'endosmose implétive rend les cellules turgescentes et la lanière d'écorce prend dans sa totalité l'incurvation qui appartient à sa couche cellulaire la plus volumineuse.

J'ai fait voir dans le XIIe Mémoire (p. 303) comment la prédomination insolite du volume de la couche externe de la médulle corticale sur la couche interne de cette même médulle dans les racines des pothos, déterminait ces racines à se diriger vers le ciel au lieu de se diriger verticalement en bas, ainsi que cela a lieu lorsque c'est la couche interne de la médulle corticale qui est prédominante. Je vais faire voir que c'est en partie à des causes semblables, que sont dues les deux directions inverses que présentent les tiges végétales soumises à l'influence de la lumière. J'ai observé, en effet, que généralement les caudex végétaux, dont l'écorce considérée dans toute son épaisseur tend par turgescence à se courber *en dedans,* se fléchissent vers la lumière, et qu'au contraire tous les caudex végétaux, dont l'écorce considérée de même dans toute son épaisseur tend par turgescence à se courber *en dehors,* tendent à se fléchir en sens inverse de celui de l'afflux de la lumière. Les premiers *tendent* vers la lumière et les seconds la *fuient.* Je vais chercher à déterminer la liaison qui existe

entre ces deux phénomènes et l'action de la lumière sur le végétal. Je commence par le cas le plus général, qui est celui de la tendance vers la lumière.

Les caudex végétaux qui tendent vers la lumière ont généralement, comme je viens de le dire, une écorce qui tend par turgescence à se courber en dedans, parce que l'ordre de décroissement des cellules de dehors en dedans y est prédominant. Je choisis pour exemple la tige du *phytolacca decandra*. La figure 4, planche 18, représente la coupe transversale de cette tige. On y voit les deux ordres de décroissement des cellules dont se compose exclusivement l'écorce dans cette tige naissante, et l'on remarque que la couche profonde des cellules corticales, celle qui touche au système central et qui offre le décroissement de ses cellules du dehors vers le dedans, est celle dont le volume est prédominant. Aussi une lanière longitudinale de cette écorce plongée dans l'eau se courbe-t-elle *en dedans* par suite de la turgescence cellulaire que produit l'endosmose. J'ai exposé plus haut comment la tige de la luzerne courbée vers la lumière ayant été fendue longitudinalement dans le sens de sa courbure (figure 2), la moitié *b* de cette tige qui avait subi l'action directe de la lumière augmenta aussitôt son incurvation, tandis que l'autre moitié *a* de la tige se courba en sens inverse de la courbure qu'elle avait précédemment subie. La tige du *phytolacca decandra* tendant, comme la tige de la luzerne, à se fléchir vers la lumière, présente les mêmes phénomènes d'incurvation dans les deux moitiés de la tige courbée séparées l'une de l'autre. Je puis donc prendre ici pour les appliquer à la tige du *phytolacca*, les figures 1 et 2 (planche 18) qui ont été faites pour la tige de la luzerne. Les jeunes tiges cette dernière plante, ne possédant qu'une écorce presque rudimentaire, ne se prêteraient pas à une démonstration aussi facilement que les jeunes tiges du *phytolacca*, dont l'écorce est beaucoup plus épaisse.

La moitié longitudinale de tige *b*, celle qui est frappée directement par la lumière, est par son incurvation le seul agent de l'inflexion totale de la tige vers la lumière; la moitié longitudinale opposée *a* est, dans cette circonstance, courbée *malgré elle*, ou dans le sens opposé à celui de sa tendance naturelle à l'incurvation. La lumière, en frappant directement la moitié longitudinale de tige *b*, a donc augmenté sa force d'incurvation *en dehors* et l'a rendue victorieuse de la force d'incurvation antagoniste de la moitié longitudinale de tige *a*. Cette prédomination de la force d'incurvation en dehors de la moitié de tige *b*, peut provenir de deux causes : 1° de l'augmentation de la force d'incurvation en dehors que possède le système central de cette moitié de tige *b*; 2° de la diminution de la force d'incurvation *en dedans* que possède le système cortical de cette même moitié de tige *b*. En effet, la force totale avec laquelle les deux moitiés de tige *a* et *b* tendent à se courber en dehors, se mesure par la force d'incurvation *en dehors* de leur système central, moins la force d'incurvation *en dedans* de leur système cortical. Lors donc que l'une de ces deux moitiés de tige *b* acquiert une force d'incurvation en dehors, supérieure à celle de son antagoniste *a*, cela atteste ou que son système central a été directement augmenté de force, ou bien que ce même système central, conservant sa force sans augmentation directe, a reçu cependant une augmentation proportionnelle de force par le fait de la diminution de la force antagoniste du système cortical qui le recouvre. Je le répète, la force totale d'incurvation en dehors de chaque moitié de tige *a* et *b*, se mesure par l'excès de la force d'incurvation en dehors de son système central sur la force d'incurvation en dedans de son système cortical; or, si la force de ce dernier système est diminuée dans la moitié de tige *b*, l'excès de force de son système central devient plus grand. Le système cortical de la moitié de tige *a*, étant supposé n'avoir point éprouvé de diminution de force d'incurvation, l'excès de force d'incurvation de son système central sera toujours le même; il sera, par conséquent, inférieur à celui de la moitié

de tige *b* qui, de cette manière, sera victorieuse et entraînera de force la moitié de tige antagoniste *a*, dans le mode de flexion qui lui est propre.

Il s'agit actuellement de déterminer comment la lumière a agi pour rendre la moitié de tige *b* victorieuse de la moitié de tige antagoniste *a*. Pour suivre l'exposition de cette détermination, il ne faut point perdre de vue que je ne considère d'abord ici que les seules actions d'incurvation du tissu cellulaire qui constitue les deux médulles centrale et corticale; je fais abstraction momentanément de l'incurvation de la couche fibreuse *f* (figure 4, planche 18) du système central; l'écorce *a* de la jeune tige du *phytolacca decandra* ne contient point encore de tissu fibreux; elle est composée exclusivement de tissu cellulaire dont la tendance à l'incurvation est *vers le dedans*. La tendance à l'incurvation du tissu cellulaire médullaire central *c* est, comme à l'ordinaire, *vers le dehors*, et cette incurvation est supérieure en force à la tendance à l'incurvation *vers le dedans* que possède l'écorce *a*. Ce sera donc le tissu cellulaire central *c* qui, par l'excès de sa force d'incurvation *en dehors* sur la force d'incurvation en dedans du tissu cellulaire cortical *a*, tendra à courber *en dehors* la moitié longitudinale de tige à laquelle il appartient. Or, la moitié longitudinale de tige *b* (figure 1, planche 18), qui est frappée directement par la lumière, se trouve par l'expérience (figure 2) posséder une force d'incurvation *en dehors*, supérieure à la force d'incurvation également en dehors, que possède la moitié longitudinale de tige *a*. Pour produire cet effet, la lumière a-t-elle augmenté directement la force d'incurvation *en dehors* du tissu cellulaire central *c* (figure 4), ou bien a-t-elle seulement diminué la force d'incurvation *en dedans* du tissu cellulaire cortical *a*? On sent fort bien que, dans l'une ou dans l'autre de ces deux hypothèses, la moitié longitudinale de tige *b* (figure 2) aurait plus de force d'incurvation *en dehors* que n'en aurait la moitié longitudinale de tige *a*, laquelle privée de l'influence de la lumière n'aurait point éprouvé de changement dans la force d'incurvation de ses deux tissus cellulaires central ou cortical. J'établis ici et je démontrerai tout à l'heure qu'il faut adopter la seconde des deux hypothèses établies plus haut; savoir : celle qui consiste à considérer la lumière comme affaiblissant par son influence la force d'incurvation *en dedans* du tissu cellulaire cortical. On sait que la lumière augmente considérablement la transpiration végétale : or, il résulte nécessairement de cette augmentation de transpiration que le tissu cellulaire de la partie de l'écorce qui est frappée directement par la lumière, doit perdre une partie de sa turgescence et par suite perdre une partie de sa force d'incurvation. Cela posé, l'écorce tendant à se courber *en dedans*, l'affaiblissement de cette tendance antagoniste de celle du système central qu'elle recouvre, permet à l'incurvation *en dehors* de ce système central de s'exercer avec plus de facilité ou avec une force proportionnelle plus grande. Il résultera de là, que la moitié longitudinale de tige *b* (fig. 2, pl. 18) qui est frappée directement par la lumière, ayant acquis un surcroît de tendance à se courber vers le dehors, tandis que la moitié longitudinale de tige opposée *a*, a conservé sans augmentation sa tendance à se courber vers le dehors en sens opposé, la moitié de tige *b* (fig. 1, pl. 18) entraînera de force et *malgré elle* la moitié de tige *a* dans le sens de flexion qui lui est propre, et la tige dans sa totalité sera fléchie vers la lumière. Cette théorie trouve sa confirmation dans l'observation qui prouve que toutes les tiges végétales qui fuient la lumière ou qui se fléchissent en sens contraire à celui de son afflux, ont une écorce qui tend naturellement à se courber *en dehors* par turgescence, tandis qu'au contraire, ainsi qu'on vient de le voir, les tiges se fléchissent vers la lumière lorsque leur écorce tend à se courber *en dedans* par turgescence. Comme il est évident que le lien qui unit constamment le fait d'une structure spéciale avec le fait d'une ac-

tion physique spéciale est celui qui attache une cause à son effet, il en résultera que c'est l'écorce des caudex végétaux qui seule est modifiée d'une certaine manière par l'influence de la lumière, et qui agit en conséquence de cette modification. Ainsi, en se reportant à l'expérience exposée plus haut (figure 2), il deviendra bien certain que la lumière a agi, dans le cas dont il est ici question, en affaiblissant l'incurvation de l'écorce et non en fortifiant l'incurvation du système central.

J'ai dit que les caudex végétaux qui fuient la lumière ont généralement un système cortical qui tend à se courber *en dehors* par turgescence, parce que l'ordre de décroissement des cellules de dedans en dehors ou bien y existe seul, ou bien y est prédominant. Cette organisation se remarque en effet chez toutes les plantes grimpantes, lesquelles ne s'appliquent contre leurs appuis que parce qu'elles tendent à fléchir leurs tiges dans le sens opposé à celui de l'afflux de la lumière, laquelle est interceptée par l'appui opaque qui est voisin de l'un de leurs côtés. La coupe transversale de la tige naissante du haricot (figure 2, planche 17), la coupe transversale de la tige naissante du lierre (fig. 5, planche 18), font voir que, chez ces deux tiges grimpantes, l'écorce *a* est spécialement composée de cellules qui décroissent de grandeur du dedans vers le dehors, par conséquent cette écorce doit tendre à se courber *en dehors* lorsque ses cellules deviennent turgescentes. C'est effectivement ce que l'on observe lorsqu'on plonge dans l'eau une lanière longitudinale de cette écorce dont les cellules sont rendues turgescentes par l'endosmose implétive. J'ai fait voir plus haut par l'expérience, que la tige naissante des plantes grimpantes, et en particulier la tige naissante du lierre (*hedera helix*), tend à se fléchir dans le sens opposé à celui de l'afflux de la lumière ou qu'elle *fuit la lumière*. Je vais faire voir par quel mécanisme ce phénomène s'opère.

J'ai détaché le sommet d'une tige de lierre du tronc d'un arbre sur lequel elle était appliquée et l'ayant coupée à deux pouces environ au-dessous de son sommet, je l'ai fendue en deux moitiés longitudinales *a b* (fig. 3, pl. 18); la moitié *a* est celle qui était appliquée sur le tronc de l'arbre, la moitié *b* est celle qui était frappée directement par la lumière. A l'instant de cette séparation de la tige en deux, la moitié *a* se courba profondément *en dehors*; la moitié *b* se courba aussi *en dehors* mais bien moins profondément. Il y a donc ici une inégalité marquée dans les tendances avec lesquelles les deux moitiés longitudinales *a* et *b* de la tige naissante du lierre tendent à se courber *en dehors*. La moitié de tige *b* qui est du côté de la lumière et qui tend à se courber vers elle est évidemment ici la plus faible; c'est la moitié de tige *a* qui l'emporte en force d'incurvation, et comme elle tend à se courber en sens inverse de celui de l'afflux de la lumière, elle doit nécessairement entraîner de force la moitié de tige *b*, lorsqu'elle lui est unie, dans le sens d'incurvation qui lui est propre, c'est-à-dire dans le sens de la fuite de la lumière. La tige du lierre doit ainsi tendre à s'appliquer sur les corps solides et opaques dont elle se trouve voisine; elle fuit la lumière affluente du côté opposé. Le mécanisme intérieur qui préside à cette inflexion de la tige du lierre est facile à déterminer. Le tissu cellulaire médullaire central *c* (figure 5), chez le lierre et son tissu cellulaire médullaire cortical *a*, tendent également à se courber vers le dehors en vertu de l'ordre semblable du décroissement de grandeur de leurs cellules. Si donc la moitié longitudinale de tige *b* (figure 3) tend plus faiblement que la moitié longitudinale de tige *a* à se courber *en dehors*, cela ne peut provenir que de l'affaiblissement apporté par l'action de la lumière dans l'incurvation du tissu cellulaire cortical de cette moitié de tige *b*. On se convaincra de la vérité de cette assertion en considérant que, chez les tiges qui se fléchissent vers la lumière, le tissu cellulaire cortical *a* (figure 4) offre seul dans ses cellules un

ordre prédominant de décroissement de grandeur inverse de celui qui existe dans le tissu cellulaire cortical *a* (fig. 5) des tiges qui se fléchissent pour fuir la lumière. Le tissu cellulaire central *c* de ces deux tiges (fig. 4 et 5) se ressemble quant à l'ordre de décroissement vers le dehors de ses cellules composantes. Ainsi toute la différence entre ces deux tiges se trouve ici dans leur écorce seulement. Et c'est cette différence qui entraine la différence de leur inflexion par rapport à la lumière par le mécanisme que voici. Que l'incurvation *en dedans* du tissu cellulaire cortical *a* (fig. 4) soit affaiblie sur un seul côté de la tige par l'augmentation de la transpiration que produit la lumière, le tissu cellulaire central *c* (fig. 4), qui tend à se courber en dehors, sera délivré sur ce seul côté d'une force antagoniste qui lui fait obstacle, et devenu ainsi proportionnellement plus fort que le côté opposé, il courbera la tige vers la lumière. L'inflexion d'une tige pour fuir la lumière découle du même principe à l'aide d'une structure inverse de l'écorce : en effet, que l'incurvation *en dehors* du tissu cellulaire cortical *a* (fig. 5) soit affaiblie sur un seul côté de la tige par l'augmentation de la transpiration que produit la lumière, le tissu cellulaire central *c* (figure 5), qui tend de même à se courber *en dehors*, se trouvera privé sur ce seul côté d'une force auxiliaire; il deviendra ainsi proportionnellement plus faible que le côté opposé, en sorte que ce dernier courbera la tige du côté opposé à celui de l'afflux de la lumière.

Jusqu'ici je n'ai tenu compte que de l'action d'incurvation des tissus cellulaires médullaires central et cortical, pour expliquer le mécanisme de l'inflexion des tiges soit vers la lumière, soit dans le sens opposé à celui de son afflux. Cette incurvation du tissu cellulaire a lieu par implétion de liquide avec excès ou par endosmose; or, dans les tiges naissantes, il existe un *tissu fibreux*, lequel dans ce premier temps de son existence est incurvable par oxygénation; c'est ce tissu fibreux qui dans la suite deviendra ligneux; le tissu fibreux de l'écorce n'existe pas encore la plupart du temps dans les tiges très-jeunes : or, l'incurvation de ce tissu fibreux *f* (fig. 4), incurvation *en dehors* qui a lieu par implétion d'oxygène, joue un rôle important dans le phénomène de l'inflexion des tiges vers la lumière. J'ai fait voir dans le VII[e] Mémoire que l'oxygène produit par l'action de la lumière sur les parties vertes des végétaux, sert à entretenir leur respiration; les tiges qui sont ordinairement vertes à leur naissance possèdent donc plus d'oxygène dans le tissu de leur moitié longitudinale qui est frappée directement par la lumière, que dans le tissu de leur moitié longitudinale opposée; par conséquent le tissu fibreux de la première de ces deux moitiés est celui qui est dans les conditions les plus favorables pour l'oxygénation, d'où il suit que son incurvation doit l'emporter en force sur celle du tissu fibreux de la moitié de tige opposée; or, comme ce tissu fibreux tend à se courber *en dehors*, il en résulte que, son incurvation étant plus forte dans la moitié de tige frappée par la lumière qu'elle ne l'est dans la moitié de tige opposée, la tige entière sera fléchie vers la lumière par l'action du tissu fibreux. C'est évidemment à cette action du tissu fibreux qu'est due la direction des racines vers la lumière lorsqu'elles deviennent accidentellement vertes; alors elles produisent de l'oxygène sous l'influence de la lumière, et cet oxygène, versé dans leurs organes pneumatiques, sert à l'oxygénation du tissu fibreux, lequel se courbe par le fait même de cette oxygénation. Lorsque les racines restent blanches, elles ne produisent point d'oxygène, et leur tissu fibreux, par cela même qu'il ne s'oxygène point, ne courbe point ces racines vers la lumière.

Il résulte de ce qui vient d'être exposé que, chez les tiges qui se fléchissent vers la lumière, cette inflexion est due à l'action d'incurvation par endosmose du tissu cellulaire médullaire central *c* (fig. 4, pl. 18), et en outre à l'action d'incurvation par oxygénation du tissu fibreux *f*. Ces

deux incurvations ont également lieu *en dehors*, et elles sont un peu contrariées, ou contre-balancées par l'incurvation *en dedans* du tissu cellulaire cortical *a*; la lumière affaiblissant, sur la seule moitié de tige qu'elle frappe, cette incurvation contre-balançante qu'opère le tissu cellulaire cortical, la tige tout entière est fléchie du côté de l'afflux de la lumière. Chez les tiges qui fuient la lumière ou qui se fléchissent du côté opposé à celui de son afflux, le tissu fibreux *f* (fig. 5, pl. 18) est toujours extrêmement mince lorsque ces tiges sont naissantes, comme on le voit ici chez le lierre. Il résulte de là que son action d'incurvation est très-faible. Ici l'incurvation du tissu cellulaire central *c*, l'incurvation du tissu fibreux *f*, et l'incurvation du tissu cellulaire cortical *a*, sont congénères; elles s'opèrent toutes les trois de même *en dehors*. La lumière affaiblit, sur la seule moitié de tige qu'elle frappe, l'incurvation en dehors qu'opère le tissu cellulaire cortical *a*; la moitié de tige opposée, et qui est dans l'ombre, ayant conservé dans son entier la force d'incurvation de tissu cellulaire cortical, ces trois agents d'incurvation congénères, dont la force n'a subi aucune diminution, fléchissent la tige entière dans le sens opposé à celui de l'afflux de la lumière. Pour que cette inflexion ait lieu, il faut que le tissu fibreux *f* (fig. 5) offre au moins une des conditions suivantes: 1° il faut qu'il ait assez peu de volume pour que l'augmentation de son action d'incurvation par oxygénation que produit la lumière, soit inférieure à la diminution de l'action d'incurvation par endosmose que produit en même temps la lumière dans le tissu cellulaire cortical *a*: cela dépend du volume de tissu cellulaire; 2° il faut que le tissu fibreux *f* soit peu oxygéné, en sorte que sa force d'incurvation soit à peu près nulle, ou du moins qu'elle n'éprouve point d'augmentation sensible dans la moitié longitudinale de tige qui est frappée directement par la lumière. Cette absence ou cette diminution considérable de l'oxygénation a lieu lorsque la tige est en partie étiolée faute d'une lumière assez vive: ainsi la condition indispensable pour qu'une tige fuie la lumière est que son écorce tende par turgescence à se courber *en dehors*. A cette condition fondamentale de la fuite de la lumière doit se joindre la faiblesse de l'action d'incurvation *en dehors* du tissu fibreux central. Cette faiblesse dépend ou du peu de volume de ce tissu fibreux, ou de son défaut d'oxygénation; je vais citer des exemples de ces deux cas de faiblesse du tissu fibreux central.

1° *Faiblesse du tissu fibreux central par raison de son peu de volume.* — La tigelle de l'embryon séminal du gui est peut-être, de tous les caudex végétaux, celui qui manifeste le plus évidemment la tendance à fuir la lumière; or, cette tigelle est entièrement composée de tissu cellulaire dont l'opacité ne permet pas de distinguer celui qui appartient au système central de celui qui appartient au système cortical; mais cela est indifférent, car on voit très-bien que le tissu cellulaire, qui est le plus extérieur et qui par conséquent est celui de l'écorce, est composé de cellules décroissantes de grandeur du dedans vers le dehors. Cette écorce doit donc tendre par turgescence à se courber en dehors, ce qui est la condition fondamentale de la fuite de la lumière; en outre le tissu fibreux central manque totalement dans cette tigelle: or, comme ce tissu fibreux central serait ici le seul agent qui pût faire tendre la tigelle vers la lumière, son absence favorise au plus haut point la tendance inverse qui résulte de l'organisation du tissu cellulaire cortical; aussi n'arrive-t-il jamais que la tigelle de l'embryon séminal du gui se dirige vers la lumière, quelle que soit l'intensité de celle-ci, et quelle que soit l'intensité de la coloration en vert de cette tigelle.

Les tiges naissantes de la vigne ont une écorce qui tend par turgescence à se courber *en dehors*, ainsi que cela a lieu chez toutes les plantes grimpantes. Cette organisation est la condition fondamentale en vertu de laquelle les tiges fuient la lumière; or, les tiges naissantes de la vigne, telles qu'elles existent à l'extrémité des

scions en pleine végétation, ne contiennent presque que du tissu cellulaire central et cortical. Le tissu fibreux central y est rudimentaire; aussi ces tiges naissantes fuient-elles la lumière; on les voit toujours courbées fortement en crochet vers la terre, fuyant ainsi la lumière qui afflue d'en haut : cette flexion n'est point le résultat de la faiblesse de cette tige, car elle est assez grosse; elle persiste avec force dans cette flexion qui est le résultat d'une incurvation spontanée qu'on ne peut lui faire perdre sans la rompre. En acquérant un peu plus d'âge, cette jeune tige augmente le volume de son tissu fibreux central, lequel prend de l'oxygénation sous l'influence de la lumière dans la moitié de tige qui est éclairée directement, c'est-à-dire dans la moitié de tige qui occupe le côté convexe du crochet que forme cette tige à son extrémité; alors l'incurvation *en dehors* de ce tissu fibreux redresse, à mesure qu'elle s'allonge, cette tige qui cesse de fuir la lumière, et se dresse vers le ciel. Pendant ce temps, le développement terminal produit une nouvelle partie naissante, en sorte que le scion, pendant sa végétation, est toujours terminé par un crochet dont la pointe est dirigée vers la terre. J'ai observé que cette courbure de l'extrémité du scion de la vigne est plus profonde pendant le jour que pendant la nuit; cette courbure en crochet tend ainsi un peu à se redresser pendant l'absence de la lumière dont l'influence pendant le jour la rend plus profonde. Ce fait suffit pour prouver que l'influence vers la terre du sommet des scions de la vigne est véritablement due à ce que ce sommet de tige fuit la lumière affluente du ciel; c'est à la même cause qu'il faut attribuer la direction que prennent les *vrilles* ou *mains* de la vigne; lorsque le scion auquel elles appartiennent est tendu horizontalement à distance du sol, toutes ces *vrilles* se dirigent verticalement vers la terre; lorsque le scion est étendu le long d'une muraille, les vrilles se dirigent toutes perpendiculairement vers cette muraille: ces *vrilles*, comme celles de tous les végétaux grimpants fuient la lumière; leur inflexion s'opère exclusivement dans le renflement qui est situé à leur base, et l'observation microscopique fait voir que ce renflement, comme le reste de la vrille, possède éminemment la structure intérieure qui fait que les caudex végétaux fuient la lumière. Chez cette vrille qui est une tige avortée, le tissu cellulaire cortical tend, par l'ordre de décroissement de grandeur de ses cellules, à se courber en dehors par turgescence, de la même manière que le tissu cellulaire central; le tissu fibreux est rudimentaire dans le renflement de la base de cette vrille, et ce renflement est le siége exclusif du mouvement qu'elle exécute; or, ce sont là les conditions organiques générales qui font que les caudex végétaux fuient la lumière, ainsi que je l'ai établi plus haut.

Les branches de certains arbres, au lieu de se diriger vers le ciel, se courbent vers la terre, sans que cela soit un effet de leur pesanteur; c'est ce que l'on remarque, par exemple, dans la variété du frêne (*fraxinus excelsior*) qui porte le nom de *frêne pleureur;* cela provient de ce que les branches de cette variété du frêne fuient la lumière affluente du ciel. L'expérience m'a prouvé en effet, que l'écorce des scions de cet arbre, prise dans leur sommet encore herbacé, étant réduite en lanières longitudinales, se courbe *en dehors* lorsqu'on la plonge dans l'eau. L'observation microscopique fait voir que cela dépend de ce que la couche cellulaire extérieure de l'écorce, dont les cellules décroissent de grandeur du dedans vers le dehors, est plus épaisse que la couche cellulaire plus profonde dont l'ordre de décroissement des cellules est inverse. En même temps, le tissu fibreux central se trouve être excessivement mince et presque rudimentaire dans la partie encore herbacée des scions du *frêne pleureur*. Or, ce sont là les conditions organiques qui font qu'une tige fuit la lumière. J'ai étudié comparativement sous les mêmes points de vue le frêne ordinaire dont les scions se dirigent vers la lumière. J'ai vu que des lanières d'écorce enlevée sur la

partie encore herbacée des scions de cet arbre se courbent *en dedans* lorsqu'on les plonge dans l'eau ; ce qui est l'opposé de ce qui a lieu chez le *frêne pleureur,* et l'observation microscopique fait voir que ce mode d'incurvation dépend de ce que le tissu cellulaire de cette écorce offre d'une manière prédominante le décroissement de ses cellules du dehors vers le dedans ; en outre, le tissu fibreux central de ces scions encore herbacés est assez développé. Or, ce sont là les conditions organiques qui font que les tiges végétales tendent à se diriger vers la lumière. J'ai fait des observations analogues aux précédentes sur plusieurs végétaux, soit ligneux, soit herbacés, dont les tiges se dirigent en sens inverse de l'afflux de la lumière, et j'ai trouvé constamment chez eux l'existence des conditions organiques que je viens d'exposer, et en vertu desquelles les tiges végétales fuient la lumière. Je citerai, parmi les végétaux ligneux, le *juniperus communis* dont les branches sont toujours obliquement descendantes, et le *saule pleureur* (*salix babylonica*). Ce dernier arbre possède en effet, dans la structure organique de ses scions, les conditions de la fuite de la lumière. Ce qui prouve que ce n'est pas à leur seule flexibilité qu'ils doivent leur position descendante.

2° *Faiblesse du tissu fibreux central par raison de son défaut d'oxygénation.* —Le tissu fibreux central tend à se courber en dehors avec d'autant plus de force qu'il est plus oxygéné. La lumière a pour effet de produire de l'oxygène dans les parties vertes des tiges ; par conséquent le tissu fibreux sera plus oxygéné dans la moitié de tige frappée directement par la lumière que dans la moitié de tige opposée qui est dans l'ombre. Il résultera de là que la tige, dans son entier, sera fléchie vers la lumière par l'action du tissu fibreux central, à moins qu'une inflexion inverse ne soit produite par l'action prédominante de l'incurvation du tissu cellulaire cortical, ainsi que cela a lieu dans les exemples ci-dessus exposés. Or, on conçoit facilement que si une tige qui ne tend pas très-fortement à fuir la lumière par l'incurvation de son tissu cellulaire cortical, est soumise à une vive lumière, son tissu fibreux central, fortement oxygéné du côté de la lumière, fléchira cette tige vers cette même lumière ; si, au contraire, cette même tige qui tend à fuir la lumière par l'incurvation de son tissu cellulaire cortical est en partie étiolée, et par conséquent privée en partie d'oxygène intérieur ; son tissu fibreux central peu oxygéné ne tendra que très-faiblement à fléchir cette tige vers la lumière, et dès lors cette tige abandonnée à l'action d'incurvation du tissu cellulaire cortical, lequel tend à la fléchir dans le sens opposé, fuira la lumière. Tels sont les phénomènes que le lierre offre à l'observation. Lorsque ses scions sont exposés à l'action d'une vive lumière et que leur extrémité végétante et herbacée est d'une couleur bien verte, ces scions se dirigent vers la lumière. C'est ce que l'on remarque dans les scions du lierre, lorsqu'ils se projettent en avant d'un mur qui est tapissé par cet arbuste grimpant. Il n'en est pas de même de ceux des scions du lierre qui se développent à l'ombre et qui présentent ainsi un commencement d'étiolement. Ceux-ci tendent fortement à fuir la lumière, et c'est pour cela qu'ils s'appliquent sur les murs ou sur le tronc des arbres. Aussi le lierre demande-t-il généralement à croître sous l'ombrage des arbres ou derrière des murailles qui le garantissent de l'action de la lumière directe du soleil. Lorsqu'il croît sur des murailles exposées au midi, il projette vers la lumière de nombreux rameaux, et c'est sous leur ombrage que d'autres rameaux prennent le commencement d'étiolement qui les dispose à fuir la lumière et à se fléchir en conséquence vers la muraille à laquelle ils se fixent. Presque toutes les plantes grimpantes sont dans le même cas ; en général, elles demandent à croître ombragées par les arbres qui doivent leur servir de supports, et, sous cet ombrage, leurs tiges prennent un commencement d'étiolement qui augmente leur tendance à fuir la lumière. Au reste, de même que le lierre, les autres

plantes grimpantes manifestent souvent dans leurs tiges la tendance vers la lumière, tendance qui existe toujours dans leurs feuilles.

Les résultats suivants découlent des observations qui viennent d'être exposées. 1° Tout caudex végétal dont l'écorce tend par turgescence cellulaire à se courber *en dedans* doit tendre à se fléchir vers la lumière : il est favorisé dans cette tendance par l'incurvation de son tissu fibreux central. 2° Tout caudex végétal dont l'écorce tend par turgescence cellulaire à se courber *en dehors* doit tendre à fuir la lumière, à moins que son tissu fibreux central ne soit volumineux ou fortement oxygéné par l'action de la lumière ; dans ce cas, le caudex végétal tend à se diriger vers la lumière.

Il y a des caudex végétaux qui, à diverses époques offrent des inflexions différentes par rapport à la lumière. Cela s'observe surtout par rapport aux pédoncules des fleurs. Parmi des exemples fort nombreux que je pourrais citer sur ce sujet, je choisirai celui qu'offre la fleur de l'*ipomea purpurea* (*convolvulus purpureus* L.). Dans la préfloraison de cette fleur, son pédoncule est fléchi vers la terre. Lorsque la fleur est épanouie, son pédoncule se redresse, et dirige vers le ciel ou vers la lumière l'ouverture de la corolle ; après la chute de la corolle, le pédoncule se fléchit de nouveau vers la terre. J'ai fait voir dans le XII[e] Mémoire (page 301) que le pédoncule de la fleur de la bourrache se fléchit vers la terre, parce qu'il possède les conditions organiques qui occasionnent la même inflexion chez les racines. J'ai voulu savoir si la flexion du pédoncule de la fleur de l'*ipomea purpurea* vers la terre provenait de la même cause, ou bien si elle provenait de ce que ce pédoncule fuyait la lumière affluente du ciel. L'inspection microscopique de l'organisation de l'écorce de ce pédoncule m'a suffi pour savoir à quoi m'en tenir à cet égard. Tout caudex végétal qui se fléchit spontanément vers la terre sous l'influence physiologique de la pesanteur doit avoir, comme les racines, une écorce dont le tissu cellulaire est spécialement composé de cellules décroissantes de grandeur du dehors vers le dedans ; au contraire, tout caudex végétal qui se fléchit vers la terre, parce qu'il fuit la lumière affluente du ciel, doit avoir une écorce spécialement composée de cellules décroissantes de grandeur du dedans vers le dehors. C'est là, en effet, la condition organique indispensable pour qu'un caudex végétal fuie la lumière, ainsi que je l'ai fait voir plus haut. Or, l'examen microscopique de la structure intérieure du pédoncule de la fleur de l'*ipomea purpurea* fait voir que son écorce est entièrement composée de cellules décroissantes de grandeur du dedans vers le dehors ; en outre son tissu fibreux central disposé par petits faisceaux isolés est très-exigu. Ainsi ce pédoncule possède éminemment les conditions organiques en vertu desquelles les caudex végétaux fuient la lumière. C'est donc bien certainement à cette cause qu'il faut rapporter son inflexion vers la terre avant et après la floraison. Ce pédoncule courbe son sommet vers la terre par l'action d'incurvation de son tissu cellulaire cortical, et cette incurvation est le résultat de la turgescence de ce tissu cellulaire. Or, lorsque arrive l'épanouissement de la corolle, celle-ci, par la large surface d'évaporation qu'elle offre, occasionne une grande perte de liquide intérieur, en sorte que le tissu cellulaire du pédoncule cesse d'être turgescent et cesse, par conséquent, d'affecter l'incurvation qui dirigeait le sommet de ce pédoncule vers la terre. Alors le tissu fibreux agit seul et dirige le sommet de la tige florale vers la lumière. Après la chute de la corolle, les choses reviennent dans l'état où elles étaient avant l'épanouissement de la fleur ; il n'y a plus autant de déperdition des liquides intérieurs : en conséquence, le tissu cellulaire cortical, reprenant son incurvation par turgescence, fléchit de nouveau le pédoncule vers la terre. Le *convolvulus arvensis* présente les mêmes phénomènes ; ils ne sont point offerts par le *convolvulus sepium*, et j'attribue cela à ce que ce dernier possède deux larges bractées au

sommet de son pédoncule floral. Ces bractées favorisent l'évaporation des liquides intérieurs, comme le fait la corolle ; elles doivent donc de même empêcher la turgescence du tissu cellulaire cortical du pédoncule et, par conséquent, empêcher son incurvation, laquelle, sans cela, dirigerait le sommet du pédoncule vers la terre avant et après la floraison. J'ai dit, dans le XIIe Mémoire (page 304) que les racines aériennes des *pothos*, lesquelles se dirigent souvent vers le ciel, affectent aussi souvent une direction descendante, et j'ai attribué, en partie, ce dernier phénomène à ce que ces racines fuiraient la lumière affluente du ciel. C'est effectivement ce qui a lieu. J'ai vu une racine aérienne de *pothos digitata* qui, voisine d'un bâton planté dans la terre, du côté obscur de la serre, dans laquelle se trouvait la plante, s'était appliquée et courbée sur ce bâton, comme l'aurait fait la vrille d'une plante grimpante, fuyant ainsi la lumière affluente du côté opposé. Or ces racines possèdent dans leur écorce l'organisation qui fait que les caudex végétaux verts fuient la lumière ; elles ont au-dessous de l'enveloppe tégumentaire une couche épaisse de cellules décroissantes de grandeur de dedans en dehors. J'ai fait voir, dans le Mémoire précité, comment cette organisation tend à intervertir la tendance ordinaire des racines à descendre et, par conséquent, à les faire monter vers le ciel sous l'influence de la pesanteur ; or, on voit ici que cette même organisation tend à faire descendre ces mêmes racines vers la terre, parce qu'elles fuient la lumière affluente du ciel. Ainsi ces racines sollicitées dans des sens inverses par l'influence de la pesanteur et par l'influence de la lumière, obéissent tantôt à la première, tantôt à la seconde de ces deux causes de direction, suivant qu'elles subissent avec excès l'influence spéciale de l'une ou de l'autre de ces deux causes extérieures.

La tendance qu'ont les feuilles à donner une direction spéciale à leurs deux faces, leur retournement lorsqu'elles reçoivent accidentellement une position inverse de celle qui leur est naturelle, sont des phénomènes qui depuis longtemps ont exercé la sagacité des naturalistes ; ici surtout doivent être citées les recherches de Bonnet. On va voir par l'exposé des observations de ce naturaliste, qu'il ne suffit pas toujours de bien voir les faits, mais qu'il faut aussi savoir les coordonner pour les rattacher à leurs véritables causes. C'est dans ce dernier point seulement que Bonnet a failli, car ses observations sont excellentes. Il a vu que le retournement des feuilles s'opère tantôt au moyen de l'inflexion du pétiole, tantôt au moyen de sa torsion et quelquefois au moyen de ces deux actions. Il a vu que le pétiole incliné vers la terre se relève comme une tige ayant de même une tendance à la verticalité. De ces faits, il a déduit avec raison, quoique sans preuves véritablement suffisantes, que le phénomène du retournement des feuilles renversées, a de l'analogie avec le phénomène du retournement de la plumule et de la radicule dans les graines en germination placées à *contre-sens*. Bonnet nota ce phénomène que les feuilles qui, telles que celles de la vigne, ont dans l'état naturel leur face supérieure dirigée horizontalement vers le ciel, dirigent cette même face verticalement en avant lorsqu'elles sont voisines d'une muraille. Alors le pétiole, qui, dans le premier cas, était vertical, se trouve ici horizontal ou à peu près. Bonnet vit qu'une plante placée dans un appartement et auprès de la fenêtre, dirige la face supérieure de ses feuilles vers cette fenêtre et parallèlement aux carreaux de vitre ; il expérimenta qu'une jeune tige de merisier garnie de ses feuilles et faisant encore partie de l'arbre, étant placée sous l'abri d'une table horizontale, les feuilles qui n'étaient ainsi éclairées que latéralement placèrent leurs limbes dans une position verticale, ayant leurs pointes en bas, dirigeant ainsi leur face supérieure vers la lumière qui leur arrivait latéralement et dirigeant leurs faces inférieures vers l'ombre qu'elles se faisaient mutuellement. Bonnet ne me paraît pas avoir assez bien exposé cette importante expé-

rience, que j'ai répétée sur l'érable, et qui prouve si bien que la face supérieure des feuilles tend à se diriger vers la lumière. Il expérimenta encore que les feuilles renversées se retournent bien plus promptement à la lumière du soleil qu'à l'ombre; il expérimenta enfin que des feuilles renversées se retournaient vers la lumière d'une bougie. Il semble qu'on ne puisse rien ajouter à de pareilles expériences, pour prouver que les feuilles tendent à diriger leur face supérieure vers la lumière; or, Bonnet vient encore les corroborer par l'observation du phénomène de la nutation, phénomène dans lequel on voit la face supérieure de certaines feuilles suivre le soleil dans sa marche diurne et se tenir ainsi toujours dirigées vers cet astre. Cependant, Bonnet ayant observé que les feuilles tendaient aussi à se retourner dans la plus complète obscurité, fut porté par ce fait à admettre que ce n'était point l'influence de la lumière qui occasionnait généralement leur retournement. L'esprit humain est généralement disposé à adopter les opinions exclusives quoique fort rarement la vérité soit tout entière d'un seul côté. Cette réflexion s'applique naturellement ici. Bonnet ayant vu que le retournement des feuilles s'opérait, dans certaines circonstances, sans le concours de la lumière, rejeta entièrement l'influence de cette dernière et chercha une autre cause au phénomène qu'il observait. Adoptant l'hypothèse imaginée par Dodart, pour expliquer le retournement de la radicule et de la plumule, Bonnet l'appliqua ainsi au phénomène du retournement des feuilles. Selon lui, la face inférieure des feuilles serait composée de fibres qui se contracteraient à l'humidité, tandis que leur face supérieure serait composée de fibres qui se contracteraient à la sécheresse. Il résulterait de là, selon lui, que chez la feuille renversée la face inférieure se retournerait vers la terre, siége de l'humidité qui ferait contracter les fibres de cette face, tandis que la face supérieure se retournerait en même temps vers le ciel, ou plutôt du côté de l'atmosphère dont la chaleur et l'action desséchante feraient contracter ses fibres. Cherchant à donner des preuves à ces étranges assertions, Bonnet imagina de fabriquer des feuilles artificielles dont la face supérieure était en parchemin, qui se resserre par l'effet de la sécheresse et dont la face inférieure était en toile, dont les fils se raccourcissent par l'effet de l'humidité. Il soumit ces feuilles artificielles à la chaleur et à l'humidité, et il crut voir que selon les circonstances de l'expérience elles tendaient à se comporter dans leurs inflexions comme de véritables feuilles. Il est inconcevable que Bonnet se soit arrêté à une pareille explication après avoir expérimenté, comme il l'a fait, que les feuilles entièrement plongées dans l'eau, étant à l'état de renversement, se retournent aussi bien que les feuilles qui sont dans l'air. Aucune autre tentative n'a été faite depuis par les physiologistes, pour expliquer le mécanisme du retournement des feuilles.

La direction de la face supérieure des feuilles vers le ciel est un fait qui d'abord a paru général; cependant il souffre quelques exceptions. Bonnet a cité celle que présente le gui dont les feuilles affectent indifféremment toutes les positions. Quelquefois ce n'est plus la face supérieure de la feuille qui tend à se diriger vers le ciel, c'est sa face inférieure. C'est ce que l'on observe, par exemple, chez les feuilles d'un très-grand nombre de graminées qui tordent leur limbe sur lui-même pour diriger sa face inférieure vers le ciel, comme on le voit dans la figure 2, planche 19 [1]. Les *feuilles ramules* du *ruscus aculeatus* (voyez dans le III[e] Mémoire tome 1, page 108) dirigent de même leur face inférieure vers le ciel au moyen de la torsion de leur court pétiole. En général, on remarque que c'est toujours la

[1] Je crois avoir publié le premier cette observation en 1824, dans mes *Recherches anatomiques et physiologiques, etc.*, page 120. M. de Candolle, dans sa *Physiologie* publiée en 1832 (page 848), attribue cette observation à M. Ernest Meyer, et cela d'après ce que lui aurait dit M. Rœper.

face la plus colorée de la feuille qui est dirigée en haut ou vers la lumière. La face opposée doit son infériorité de coloration à l'air qui est contenu dans ses cavités pneumatiques superficielles, ainsi que je l'ai démontré dans le VII[e] Mémoire. Ces cavités pneumatiques sont situées à la face supérieure de la feuille chez beaucoup de graminées; il en est de même chez les *feuilles ramules* du *ruscus aculeatus*. En ne considérant ici que la cause finale, on voit pourquoi ces feuilles se placent dans une position renversée; cette position est nécessaire, en effet, pour que la feuille produise, sous l'influence de la lumière, l'oxygène nécessaire pour la respiration de la plante. J'ai fait voir, en effet, par l'expérience, dans le Mémoire précité, que la face de la feuille qui porte les cellules pneumatiques doit être placée à l'opposite de la lumière pour que la feuille remplisse sa fonction de produire l'oxygène respiratoire. C'est pour cela que le plus généralement les cellules pneumatiques sont placées à la face inférieure des feuilles. Lorsque ces cellules pneumatiques se trouvent placées à la face supérieure, les feuilles pourvues de cette organisation exceptionnelle se retournent et dirigent en haut leur face inférieure. Chez le genévrier (*juniperus communis*), les cellules pneumatiques sont situées à la face supérieure des feuilles; c'est ce qui donne à cette face supérieure une couleur blanchâtre; la face inférieure de ces mêmes feuilles dépourvue de cellules pneumatiques est verte. Or ces feuilles courtes, coriaces et privées de pétioles, ne peuvent se retourner pour diriger à l'opposite de la lumière leur face supérieure. Ce sont alors les jeunes branches qui s'inclinent vers la terre, en sorte que par ce mécanisme la face supérieure des feuilles se trouve dirigée vers la terre ou à l'opposite de la lumière, laquelle frappe alors directement leur face inférieure. Ce fait me paraît des plus remarquables.

Les feuilles qui possèdent autant de cellules pneumatiques à leur face supérieure qu'à leur face inférieure ne dirigent ni l'une ni l'autre de ces faces vers le ciel; elles placent le plan de leur limbe dans une situation verticale; telles sont les feuilles de la laitue vireuse (*lactuca virosa*). Les feuilles épaisses dont les cavités pneumatiques sont situées profondément présentent indifféremment leurs deux faces à la lumière; telles sont les feuilles du gui; telles sont encore les feuilles tubuleuses de quelques alliacées.

Les pétales des fleurs offrent à leurs faces opposées la même inégalité de coloration que l'on observe dans les deux faces des feuilles, et c'est de même à la présence ou à la plus grande abondance des cellules pneumatiques qu'est due la coloration moins grande de l'une des faces. Or, j'ai observé que, chez les pétales comme chez les feuilles, c'est toujours la face qui porte spécialement les cellules pneumatiques ou la face la moins colorée qui est située à l'opposite de la lumière. Le plus généralement c'est la face interne des pétales ou des corolles qui est plus colorée que leur face externe; aussi la plupart des fleurs dirigent-elles leur ouverture ou leur face interne vers la lumière. Quelquefois cette face interne de la fleur est dirigée vers la terre, et cette direction coïncide avec l'infériorité de la coloration de cette face interne. C'est ce qu'on remarque, par exemple, chez les fleurs de *digitalis purpurea*, de *symphytum officinale*, de *fritillaria imperialis*, etc. Chez les fleurs papilionacées le pétale qui porte le nom de *pavillon*, a sa face interne plus colorée que sa face externe; c'est aussi cette face interne qui est dirigée vers la lumière; les deux pétales qui portent le nom d'*ailes* ont, au contraire, le plus ordinairement leur face externe plus colorée que leur face interne; et, par suite, c'est leur face externe qui est dirigée vers la lumière. Ces deux *ailes* restent appliquées l'une contre l'autre par leur face interne. Dans le genre *phaseolus*, on voit ces *ailes* se tordre sur elles-mêmes pour diriger vers le ciel leur face externe, plus colorée que l'interne. L'inverse a lieu dans la fleur du *melilotus officinalis*, dont les *ailes* se dirigent avec la lumière par leur face interne qui

est plus colorée que leur face externe.

Il résulte de ces observations que chez les corolles, comme chez les feuilles, c'est toujours la face qui porte spécialement ou exclusivement les cellules pneumatiques qui est dirigée à l'opposite de la lumière; j'ai fait voir dans le VIIe Mémoire que chez les feuilles cela doit être ainsi pour qu'il y ait production de l'oxygène respiratoire sous l'influence de la lumière; mais l'existence démontrée de cette nécessité physiologique n'apprend point comment la face de la feuille qui porte les cellules pneumatiques, tend à se soustraire à l'influence directe de la lumière; d'ailleurs les corolles qui ne fabriquent point d'oxygène sous l'influence de la lumière, dirigent, comme les feuilles, à l'opposite de la lumière, celles de leurs faces qui portent spécialement les cellules pneumatiques. On voit donc seulement ici l'existence d'un fait que sa généralité doit faire regarder comme nécessaire; puisque ce fait est constant, il faut bien que la disposition organique en vertu de laquelle il a lieu entre comme élément dans sa production; mais on ignore encore comment l'organisation du limbe de la feuille influe sur la position de ses faces par rapport à la lumière; quoiqu'on ignore quelle est l'action physiologique du limbe dans cette circonstance, il n'en est pas moins certain que cette action existe, et que c'est en grande partie à elle qu'est dû le retournement de la feuille; toutefois le pétiole agit aussi pour opérer ce retournement sans aucune participation du limbe. Ce dernier peut même être enlevé, et le pétiole agira comme si ce limbe était encore situé à son sommet. J'ai pris une feuille de capucine (*tropeolum majus*), et en ayant ôté le limbe, j'ai enfoncé par sa base son long pétiole dans une fiole pleine d'eau, j'ai ensuite rabattu ce pétiole le long des parois de la fiole, et je l'y ai maintenu par son milieu avec une ligature. La partie supérieure et rabattue du pétiole était ainsi libre et mobile; cette partie supérieure du pétiole placée vis-à-vis de la lumière ne tarda pas à se redresser vers le ciel, en sorte que si elle eût encore porté le limbe, celui-ci eût été dirigé vers la lumière. Je variai l'expérience: j'enfonçai dans l'eau que contenait la fiole le limbe d'une autre feuille, et je rabattis la partie inférieure du pétiole le long des parois de la fiole où je le fixai par son milieu au moyen d'une ligature; la partie inférieure et rabattue du pétiole se dressa vers le ciel, en sorte que si un limbe de feuille eût été fixé à cette extrémité inférieure du pétiole, ce limbe eût été dirigé vers le ciel. Ces expériences semblent prouver que le redressement du pétiole ne serait point influencé nécessairement par les fonctions physiologiques du limbe, et que ce dernier serait même tout à fait passif dans cette circonstance; mais les faits rapportés plus haut prouvent que cette manière exclusive d'envisager le phénomène ne doit point être adoptée. Le limbe exerce certainement une action physiologique sur l'incurvation du pétiole lorsque sa face inférieure est accidentellement dirigée vers la lumière; mais il est également certain que le pétiole agit pour retourner le limbe lorsqu'il est renversé sans aucune influence de la part de ce dernier; le pétiole est un segment longitudinal de tige, il doit donc en cette qualité se fléchir vers la lumière par son action propre et indépendamment de toute influence de la part du limbe; il doit de même, comme une tige, tendre à se diriger vers le ciel sous l'influence de la pesanteur; aussi une feuille de capucine renversée redresse-t-elle son pétiole dans la plus profonde obscurité de manière à diriger la face supérieure du limbe vers le ciel, mais ce phénomène s'accomplit bien plus lentement et moins parfaitement qu'à la lumière.

Bien que dans l'état actuel de la science il ne soit plus nécessaire de prouver que c'est par une action spontanée que les feuilles renversées reportent leur face supérieure vers la lumière, et qu'elles ne subissent point passivement dans cette circonstance l'action d'une force extérieure, je ne laisserai pas de rapporter ici l'expérience à l'aide de laquelle j'ai établi autrefois cette vérité alors problématique.

J'ai pris un fragment de tige de *polygonum convolvulus,* chargé de deux feuilles situées du même côté et dirigées dans le même sens ; j'ai fixé avec un petit crochet un cheveu à la partie supérieure de ce fragment de tige ; un morceau de plomb, fixé à l'autre extrémité du cheveu, a précipité dans l'eau d'un bocal ce fragment de tige dans une situation renversée, en sorte que les deux feuilles qu'il portait avaient leur face supérieure dirigée obliquement vers la terre et à l'opposite de la lumière. La plante se tenait suspendue au milieu de l'eau du bocal sans toucher les parois de ce dernier qui était placé auprès d'une fenêtre. Les deux feuilles ne tardèrent pas à se retourner au moyen de l'inflexion et de la torsion de leurs pétioles ; le fragment de tige qui les portait ne changea point de position et le cheveu qui le retenait au milieu de l'eau n'éprouva pas la moindre torsion, ce dont je jugeai à la direction du crochet au moyen duquel la tige était attachée au cheveu ; ce dernier offrait à la torsion une résistance infiniment moindre que celle qui était opposée à cette même torsion par les deux pétioles des feuilles. Si donc ces deux derniers ont été tordus par l'effet du retournement des feuilles sans que le cheveu ait participé à cette torsion, cela prouve d'une manière irréfragable que ce n'est point une attraction ou une autre cause mécanique extérieure qui détermine le retournement des feuilles, mais que ce retournement est le résultat d'un mouvement spontané exécuté à l'occasion de l'influence d'un agent extérieur sur la feuille. Cette expérience, pour le dire en passant, suffit pour faire voir le peu de fondement de l'hypothèse qui a pour objet de faire considérer la tendance que manifestent les feuilles à diriger leurs faces opposées vers une position déterminée par rapport à la lumière comme le résultat d'une *polarisation ;* la feuille dans ce cas serait attirée ou repoussée par la lumière selon qu'elle lui présenterait l'une ou l'autre de ses deux faces qui seraient occupées par des pôles différents. Or, l'expérience prouve qu'en se retournant les feuilles n'obéissent ni à une attraction, ni à une répulsion de la part de la lumière.

Après avoir prouvé que le retournement des feuilles est le résultat d'une action organique et spontanée, il me reste à déterminer le mécanisme de cette action organique.

J'ai fait voir dans le IIIe Mémoire (t. 1, p. 108) que le pétiole des feuilles est un segment longitudinal de tige. J'ai choisi pour l'un des exemples au moyen desquels j'ai établi cette vérité le pétiole de la feuille du pommier, pétiole dont la coupe transversale est représentée par la figure 7 de la planche 4. On voit très-facilement par cet exemple, que le pétiole représente une moitié longitudinale de tige, moitié dont la partie extérieure ou corticale est à la face inférieure de la feuille. Le tissu fibreux central *b* de cette moitié de tige ou de ce pétiole tend, ainsi que cela a toujours lieu, à se courber *en dehors,* c'est-à-dire ici de manière à rendre concave la face inférieure de la feuille. Or, cette action d'incurvation du tissu fibreux central est fortement augmentée par l'influence de la lumière, ainsi que je l'ai fait voir plus haut. C'est alors le résultat de l'augmentation de l'oxygénation de ce tissu fibreux. Ceci posé, on va voir sans difficulté quel est le mécanisme du retournement de la feuille lorsqu'elle a été renversée. Un jeune scion de pommier *c d* (figure 6, planche 18) a été fléchi de haut en bas et maintenu fixement dans cette direction, au moyen de laquelle la feuille *f* se trouve renversée et avoir ainsi sa face inférieure dirigée vers la lumière. Celle-ci par son influence sur le côté inférieur du pétiole qu'elle frappe directement, détermine cette moitié longitudinale de tige à se fléchir vers elle. Le pétiole et la nervure médiane qui lui fait suite, se courbent donc en dirigeant la concavité de leur courbure vers la lumière, ainsi que cela a lieu pour toutes les tiges qui sont organisées de manière à tendre vers la lumière. Par suite de cette inflexion vers la lumière de la part du pétiole et de la part de la nervure médiane de la feuille, celle-ci se trouve définitivement retour-

née comme on le voit dans la figure 7 (planche 18). Ainsi dans ce mode de retournement, qui est le plus général, la feuille est retournée par l'inflexion du pétiole vers la lumière. Ce dernier est une moitié longitudinale de tige; or, toute moitié de tige tend exclusivement à se courber de manière à placer son écorce à la concavité de la courbure qu'elle affecte; jamais elle ne tend à se courber en sens inverse. Ce fait trouve ici tout naturellement son application. Le pétiole en sa qualité de moitié longitudinale de tige, ne tend point du tout à se courber de manière à placer à la concavité de la courbure son côté supérieur *a* (fig. 6 et 7, pl. 18) qui est occupé par la moelle placée ici superficiellement; il ne tend à se courber que de manière à placer à la concavité de la courbure son côté inférieur *b*. Ainsi l'influence de la lumière qui ne fait que fortifier ou augmenter cette tendance naturelle à l'incurvation, ne détermine jamais le pétiole à se fléchir vers elle par son côté supérieur *a*, qu'elle frappe toujours directement et le détermine toujours à se fléchir vers elle par son côté inférieur *b*, lorsqu'elle vient accidentellement à le frapper directement. Tel est le mécanisme le plus général du retournement des feuilles; il a lieu par l'inflexion de leur pétiole vers la lumière. Dans des cas moins nombreux, ce retournement s'effectue au moyen de la torsion du pétiole ou même au moyen de la torsion du limbe de la feuille. J'ai déjà cité un exemple de cette torsion du limbe chez beaucoup de graminées (figure 2, planche 19); j'ai observé cette même torsion du limbe chez les feuilles du *linocera sempervirens* (figure 1, pl. 19); chez le saule pleureur (*salix babylonica*), les tiges pendantes vers la terre ont par cela même leurs feuilles originairement renversées; elles se retournent au moyen de la torsion de leur pétiole. Le même phénomène a lieu chez les feuilles que portent les longues tiges recourbées et pendantes vers la terre du *rubus fruticosus*. C'est de même par le moyen de la torsion de leur pétiole que les *feuilles ramules* du *ruscus aculeatus* dirigent vers le ciel leur face inférieure destinée originairement à être dirigée vers la terre.

La nutation, chez les folioles du haricot, s'opère souvent au moyen de la torsion du renflement moteur qui constitue leur court pétiole. Cette torsion du pétiole incline la face supérieure de la foliole le matin vers l'orient et le soir vers l'occident, en sorte que la face supérieure de la foliole suit le soleil dans sa course. J'ai observé qu'une feuille de haricot placée dans un appartement, inclinait latéralement ses folioles vers la fenêtre pendant le jour au moyen de la torsion des pétioles de ces folioles, et que cette torsion cessait d'avoir lieu le soir, en sorte que les folioles cessaient d'être inclinées vers la fenêtre. Ce mouvement de *cessation de nutation* était très-distinct du mouvement par lequel les folioles prenaient la position de sommeil.

J'ai tenté vainement de découvrir comment la lumière agit pour déterminer la torsion des pétioles lors du retournement des feuilles. Il paraît évident que, dans cette circonstance, l'influence de la lumière a lieu sur le limbe renversé de la feuille, et que cette influence se transmet au pétiole dont elle détermine la torsion, mais on ne voit point quel est ici le lien qui unit la cause à son effet.

Les plantes héliotropes dirigent leurs fleurs vers le soleil, qu'elles suivent ainsi dans sa course diurne. Tel est, à cet égard, l'exemple bien connu de la fleur de l'*helianthus annuus*. Ce mouvement de la fleur s'exécute au moyen de la torsion de son pédoncule. On voit ici pour les corolles, comme on l'a vu pour les feuilles, la tendance à tenir leur face supérieure dirigée vers la lumière, sans apercevoir le lien qui unit l'influence exercée par la lumière sur la fleur avec le mouvement de torsion de son pédoncule.

J'ai annoncé dans mes *Recherches sur les organes pneumatiques et sur la respiration des végétaux* (VII[e] Mémoire) que la présence de l'air respirable dans ces organes est une condition indispensable pour l'exercice de toutes les actions organiques de la plante. Aussi l'expérience m'a-t-elle démontré que les feuilles cessent de se

diriger vers la lumière, lorsque leurs organes pneumatiques sont privés de cet air qui sert à la respiration végétale sans laquelle il n'y a point d'actions physiologiques. J'ai expérimenté que certains végétaux, les légumineuses, par exemple, perdent avec une extrême facilité la totalité de l'air qui est contenu dans leurs organes pneumatiques, tandis que certains autres végétaux, les *chenopodium*, par exemple, conservent une grande partie de l'air que contiennent leurs organes pneumatiques, malgré l'action prolongée du vide le plus complet que l'on puisse opérer. J'ai mis dans le vide et j'ai renversé du côté opposé à celui de l'afflux de la lumière des feuilles de haricot (*phaseolus vulgaris*) et une tige feuillée de *chenopodium album*. Les folioles des feuilles du haricot ne firent aucun mouvement pour se diriger vers la lumière; elles restèrent immobiles dans la position renversée où elles avaient été placées; les feuilles du *chenopodium* quittèrent la position renversée que je leur avais donnée et elles dirigèrent leur face supérieure vers la lumière; ce phénomène ne fut accompli que le troisième jour, tandis qu'il s'exécuta dès le premier jour chez des feuilles de haricot et de *chenopodium* que j'avais placées à l'air libre dans le même appartement. Ces plantes trempaient dans l'eau par leur extrémité inférieure coupée. Cette différence de résultat donné dans la même expérience par le *phaseolus vulgaris* et par le *chenopodium album* est évidemment en rapport avec la différence de l'aptitude qu'ont ces deux plantes à conserver dans le vide l'air contenu dans leurs organes pneumatiques. On voit en outre que la rapidité avec laquelle la plante obéit à l'influence de la lumière vers laquelle elle se dirige est en rapport avec la quantité de sa respiration ou de l'air respirable qu'elle contient.

Il résulte de ce qui vient d'être exposé que le retournement des feuilles dépend de deux causes déterminantes différentes: 1° il dépend de la disposition que possède le pétiole à se redresser vers le ciel, lorsqu'il a été accidentellement incliné vers la terre, le pétiole agit alors comme une tige sous l'influence de la gravitation; 2° le retournement des feuilles dépend de la disposition que possède le pétiole à se fléchir vers la lumière, mais seulement lorsqu'il lui présente sa face inférieure; le pétiole agit encore ici comme le fait une tige dont il représente un segment. Dans ces deux circonstances, le pétiole seul est influencé par la cause déterminante extérieure; le limbe de la feuille est entièrement passif, comme il l'est encore dans l'expérience par laquelle j'ai fait voir qu'il est dirigé vers le centre de la rotation par l'inflexion du pétiole vers ce centre (planche 17, fig. 5, C. D.) Il n'en est pas de même lors du retournement de la feuille par torsion de son pétiole ou de son limbe. Alors ce dernier, influencé par la lumière, agit physiologiquement sur le pétiole ou sur sa propre nervure médiane pour déterminer la torsion spontanée de l'un ou de l'autre.

En déterminant le mécanisme au moyen duquel les végétaux se dirigent vers la lumière ou dans le sens opposé à celui de son afflux, j'ai prouvé implicitement que les mouvements au moyen desquels s'exécutent ces actions végétales ne sont point les résultats d'une détermination instinctive, ainsi que cela a lieu lorsqu'un animal se dirige vers la lumière ou s'en éloigne. Les mouvements des végétaux pour rechercher ou pour fuir la lumière, s'expliquent mécaniquement; on suit de l'œil la chaîne qui lie la cause extérieure à son effet, qui est ici l'action organique du végétal; mais cette chaîne ne peut être suivie chez l'animal qui recherche ou qui fuit instinctivement la lumière; il prend alors une *détermination* en vertu de ses *sensations*, et il agit en conséquence. Ainsi, il y a toute une série de phénomènes psychologiques entre l'influence de la lumière sur l'animal et les actions qu'il exécute pour la rechercher ou pour la fuir. Or, chez quelques-uns de ces êtres ambigus qui, appartenant au règne animal sous certains rapports, se rapprochent à d'autres égards du règne végétal, on observe une action de recherche de la lumière

que l'on ne sait dans quelle catégorie placer. Cette action peut être purement *mécanique*, comme cela a lieu chez les végétaux; elle peut être *instinctive*, comme cela a lieu chez les animaux. Ainsi, certains polypes, et notamment les hydres qui occupent l'un des derniers rangs de l'échelle animale, se dirigent vers la lumière lorsqu'on les met dans un vase opaque qui ne permet l'accès de la lumière dans son intérieur que par une ouverture étroite, ils viennent tous se placer auprès de cette ouverture. Cette recherche de la lumière par les hydres, est un phénomène très-surprenant, car ces zoophytes n'ont point d'yeux; est-ce là un phénomène purement mécanique, ou bien est-ce une action instinctive? c'est ce que je ne puis décider. Or, il est des végétaux inférieurs qui recherchent la lumière de la même manière que les hydres, c'est-à-dire en se transportant vers elle par un mouvement spontané; certaines oscillaires sont dans ce cas. Les oscillaires sont bien certainement des végétaux; elles ont évidemment l'organisation végétale, et j'ai constaté qu'elles dégagent de l'oxygène à la lumière, ce qui est peut-être le phénomène le plus caractéristique de la nature végétale. Certains naturalistes, séduits par les mouvements spontanés d'oscillation des filaments des oscillaires, ont été tentés de considérer ces filaments comme des animaux. Mais cette raison est bien loin d'être suffisante, puisque l'on observe une oscillation analogue dans certaines parties bien incontestablement végétales, telles que les pétioles des folioles de l'*hedysarum girans*. Il est même remarquable que les flexions des filaments des oscillaires dans des sens alternativement opposés, s'exécutent par saccades brusques, comme cela a lieu chez l'*hedysarum girans*. On doit donc considérer les filaments des oscillaires comme des végétaux pourvus de mouvements spontanés et dirigés dans des sens alternativement inverses. Ces mouvements, ayant lieu dans l'eau, doivent nécessairement imprimer un mouvement de déplacement au filament d'oscillaire qui l'exécute lorsque ce filament est libre, en sorte qu'il doit se transporter par une sorte de natation jusqu'à ce qu'il rencontre un corps solide qui l'arrête. J'ai effectivement observé qu'en mettant un fragment d'oscillaire dans le milieu d'une soucoupe remplie d'eau, on ne tarde pas à voir sur les bords de cette eau des nappes verdoyantes d'oscillaires qui semblent s'y être transportées filament à filament. J'ai observé que c'était surtout vers le côté de la soucoupe le plus éclairé, que s'étaient transportées les oscillaires, en sorte qu'il me sembla qu'elles recherchaient la lumière et qu'elles se dirigeaient vers elle. Ce n'était cependant là qu'un simple soupçon; car on peut penser que ce seraient les séminules de ces oscillaires qui auraient germé et se seraient développées dans l'endroit le plus éclairé du vase de préférence à tout autre endroit, parce que les oscillaires ont besoin de lumière pour vivre, comme tous les végétaux verts. Pour dissiper mes doutes à cet égard, je fis l'expérience suivante : je pris sur l'*oscillaria smaragdina* [1] un petit fragment de la largeur de deux millimètres et pris dans son expansion membraneuse la plus nouvellement produite, afin d'être certain de la vitalité de tous les filaments composants. Je mis ce petit fragment d'oscillaire dans une soucoupe de porcelaine remplie d'eau, au fond de laquelle il demeura, et je le couvris avec une petite lame de plomb courbée en voûte très-surbaissée; elle occupait le centre de la soucoupe. De cette manière, le petit fragment d'oscillaire se trouvait à peu près soustrait à l'influence de la lumière, une loupe placée à demeure au-dessus de la soucoupe me servait à observer de temps en temps ce qui s'y passait. Je ne tardai pas à voir des filaments isolés de l'oscillaire qui, sortis de dessous la petite voûte de plomb, s'étaient posés sur le fond de la soucoupe à une petite distance de cette voûte. Je voyais leur nombre augmenter insensible-

[1] Bory de Saint-Vincent, Dictionnaire classique d'histoire naturelle. C'est l'*Oscillatoria viridis* de Vaucher, et l'*Oscillatoria tenuis* d'Agardh.

ment et surtout du côté de l'afflux de la lumière. C'était le matin que j'avais établi cette expérience et cela dans un des jours longs et chauds de l'été, j'ajoute que cette expérience se faisait à la simple lumière diffuse. Avant la fin du jour il y avait de chaque côté de la petite voûte de plomb et spécialement du côté de l'afflux de la lumière, une petite expansion verte membraneuse formée par l'accumulation des filaments de l'oscillaire; cette membrane verte appliquée sur le fond de la soucoupe était séparée par un espace vide de la petite voûte de plomb, en sorte qu'il était bien évident qu'elle n'avait point été formée par une extension végétative du petit fragment d'oscillaire que j'avais placé sous cette petite voûte de plomb. Ayant enlevé cette dernière je ne trouvai plus aucune trace du fragment d'oscillaire que j'avais mis dessous, en sorte qu'il me fut prouvé par cette expérience, que les filaments dont se composait ce fragment d'oscillaire s'étaient *enfuis*, comme l'auraient fait des animaux, de dessous la petite voûte qui leur interceptait la lumière et qu'ils étaient venus, chacun par son propre mouvement et isolément, se placer au dehors de cette petite voûte afin d'y recevoir l'influence de la lumière, influence nécessaire à leur existence. J'ai répété cette expérience plusieurs fois et toujours avec le même résultat tant que la température a été supérieure à + 15 degrés centésimaux; au-dessous de cette température ce phénomène a cessé de se produire.

Cette expérience prouve que les filaments de l'*oscillaria smaragdina* se transportent par un mouvement spontané vers la lumière comme le font les hydres; chez ces dernières, qui se rapprochent évidemment du règne animal, il peut être permis de considérer l'action par laquelle elles se dirigent vers la lumière comme une *action instinctive*; chez les oscillaires qui, au contraire, se rapprochent évidemment du règne végétal, on ne peut guère, à mon avis, considérer l'action par laquelle elles se dirigent vers la lumière que comme un effet purement mécanique de la lumière sur la direction des mouvements qu'exécutent naturellement leurs filaments; les flexions en sens alternativement inverses qu'exécutent les filaments des oscillaires constituent une sorte de reptation; l'*oscillaria anguina* (Bory) présente même dans chacun de ses filaments une reptation véritable et tout à fait semblable à celle des serpents, ainsi que l'a observé M. Bory de Saint-Vincent. Or, on conçoit que le filament d'oscillaire, libre et plongé dans l'eau où il s'agite flexueusement, se transportera dans un sens ou dans le sens opposé, suivant que son mouvement flexueux commencera à l'un de ses bouts ou au bout opposé. C'est par ce mécanisme que les serpents *amphisbènes* marchent à volonté en avant ou à reculons; or, il est possible que le sens de l'afflux de la lumière par rapport au filament d'oscillaire, détermine son mouvement flexueux à commencer par celui de ses bouts dont l'initiative de mouvement est propre à le faire marcher vers cette même lumière. Considérée de cette façon, la recherche de la lumière par les filaments des oscillaires serait un phénomène purement *mécanique*, il n'y aurait là rien d'*instinctif*. On doit convenir, au reste, qu'il est impossible d'asseoir un jugement sur des bases certaines en pareille matière : tout est obscurité là où la physiologie et la psychologie viennent à se toucher, et elles se touchent surtout chez les êtres ambigus qui sont situés entre les deux règnes animal et végétal.

M. Bory de Saint-Vincent, auquel j'avais fait part des résultats de mes observations précédentes sur les oscillaires, avant leur publication, m'a dit qu'il avait observé depuis longtemps la tendance vers la lumière de ces êtres qu'il considère comme étant à la fois animaux et végétaux; il a vu qu'en mettant l'*oscillaria Adansonii* dans un vase de verre plein d'eau et rendu opaque dans tout son pourtour, excepté sur une ligne verticale, il avait trouvé au bout de quelque temps les oscillaires fixées en grand nombre auprès de cette ligne transparente. Je me félicite de pouvoir citer à l'appui de mes expériences celles d'un naturaliste aussi habile.

XIV.

DE LA GÉNÉRATION SEXUELLE

DES PLANTES,

ET

DE L'EMBRYOLOGIE VÉGÉTALE [1].

Les végétaux se reproduisent par *génération gemmaire* ou par bourgeons et par *génération sexuelle*. Les fleurs sont les organes au moyen desquels s'accomplit ce dernier mode de génération.

Longtemps la fonction spéciale départie aux fleurs a été ignorée. Camérarius, vers la fin du seizième siècle, fut le premier qui reconnut des organes sexuels dans les pistils et dans les étamines des fleurs; il fut suivi par quelques autres naturalistes qui partagèrent ses opinions sans parvenir à les faire adopter par le monde savant. C'était au grand Linnée qu'était réservée la gloire, sinon de faire cette découverte importante, du moins de lui donner de l'éclat et de la consistance. Diverses expériences prouvèrent que les étamines sont des organes mâles, et que leur pollen est une matière fécondante dont l'accession aux styles ou plutôt aux stigmates, qui sont des organes femelles, est nécessaire pour la production de l'embryon végétal. Tout le monde savant connaît cette expérience fameuse de Gleditsch qui féconda à Berlin un palmier femelle dont les fleurs avaient été jusqu'alors stériles avec le pollen des étamines d'un palmier mâle dont quelques rameaux chargés de fleurs avaient été apportés de Dresde. Depuis ce temps ces sortes d'expériences se sont multipliées; on a fait pour les végétaux ce que, de temps immémorial, on avait fait pour les animaux. On a créé des espèces *hybrides*, sortes de *mulets végétaux*, au moyen de fécondations artificielles. Dans ces derniers temps, M. Knight, dont le nom est justement célèbre dans la physiologie végétale, a enrichi l'horticulture de beaucoup de nouvelles variétés de fruits produites par ce moyen; comment se fait-il donc qu'il se manifeste encore des doutes sur l'existence des sexes chez les plantes? Ces doutes, même en leur supposant quelques motifs plausibles en apparence, ne devraient-ils pas disparaître devant une expérience aussi concluante que l'est celle de Gleditsch?

Les jardiniers sont à même de faire tous les ans une expérience semblable avec le fraisier dioïque que l'on nomme *capron* (*fragaria elatior communis*). Les individus femelles ne produisent jamais de fruits

[1] Ce Mémoire a paru en 1810 dans le 8e volume des Annales du Muséum d'histoire naturelle; j'y ai fait quelques additions et plusieurs changements.

lorsqu'il n'y a point d'individus mâles dans leur voisinage. Il suffit de mettre une tige chargée de fleurs mâles auprès d'une plate-bande qui ne contient que des individus femelles pour féconder ces derniers à plusieurs pieds de distance; ceux qui sont plus éloignés restent stériles. Chez les plantes dont les fleurs sont hermaphrodites, on remarque quelquefois une stérilité qui résulte d'un défaut dans les organes sexuels; c'est ce que j'ai observé chez plusieurs variétés hybrides du cerisier. Les hybrides tendent généralement à être stériles, bien qu'ils ne le soient pas toujours. Ce fait connu depuis longtemps dans le règne animal n'est pas encore entièrement mis en lumière dans le règne végétal. On possède une observation due à MM. Dutour de Salvert et Auguste de Saint-Hilaire sur la stérilité d'une digitale hybride [1]. Cette observation est, je crois, la seule sur cet objet; j'y ajoute ici l'observation dont je viens de parler touchant la stérilité de plusieurs variétés hybrides de cerisiers, stérilité très-*remarquable*, quoiqu'elle soit incomplète. Les variétés dont il est ici question sont de véritables hybrides qui proviennent du cerisier (*prunus cerasus*) et du merisier cultivé (*prunus avium*). Ces variétés sont presque stériles. On les voit se couvrir de fleurs au printemps, et il ne leur succède qu'un très-petit nombre de fruits. Je soupçonnais qu'il y avait quelque imperfection dans les organes sexuels chez ces cerisiers, et l'observation a confirmé mes doutes à cet égard. Chez la plupart des fleurs de ces arbres les étamines n'ont point de pollen; leurs anthères forment une masse compacte et pâteuse qui ne se divise point en poussière pollinique, comme cela a lieu chez les étamines des cerisiers fertiles. Les fleurs de ces cerisiers hybrides sont donc, pour la plupart, privées de fécondation; c'est ce qui fait qu'elles tombent avec leurs ovaires immédiatement après la floraison. Les fruits rares que produisent ces cerisiers succèdent à des fleurs qui, par un cas exceptionnel, se sont trouvées pourvues de quelques étamines bien constituées. On sait que le merisier à fleurs doubles dont toutes les étamines sont changées en pétales et dont le style est changé en feuille est complétement stérile. Il résulte donc incontestablement de ces observations que la fécondation sexuelle est indispensable pour la production des embryons séminaux; elles apprennent en même temps que chez les végétaux l'hybridité tend à priver les organes sexuels de leurs fonctions génératrices, comme cela s'observe chez les animaux. Ce fait devient ainsi bien curieux par sa généralité.

Il est une expérience de Spallanzani qui serait de nature à inspirer des doutes sur la nécessité de la fécondation pour la production des embryons séminaux. Cet observateur rapporte [2] qu'il renferma deux rameaux de chanvre femelle dans des bouteilles à gros ventre et cela un certain temps avant la floraison; il scella l'ouverture du col de ces bouteilles avec du mastic et cela d'une manière tellement exacte qu'il ne se manifesta durant quatre mois aucun abaissement dans une colonne d'eau élevée dans un tube de verre dont une extrémité était avec le rameau dans le ventre de la bouteille au col de laquelle il était scellé de même que le rameau, et dont l'autre extrémité trempait dans un vase plein d'eau. Dans cette expérience le corps de la tige plantée dans un pot était à l'air libre. Or, dans une expérience instituée de cette façon l'air extérieur ne peut manquer de s'introduire au travers du tissu de la tige et du rameau jusque dans la bouteille dans laquelle l'expérimentateur a fait un vide léger pour faire monter l'eau dans son tube, et cette colonne d'eau ne tarderait pas à s'abaisser. D'ailleurs on sait qu'une plante hermétiquement renfermée dans une prison transparente verse de l'oxygène pendant le jour dans cette atmosphère, et l'absorbe pendant la nuit. Comment donc croire que cette atmosphère ait conservé son volume pendant quatre mois sans qu'il ait éprouvé de variations? D'ail-

[1] Bulletin des Sciences de la Société philomatique. 1823.

[2] Expériences sur la génération.

leurs il est très-certain que, renfermée de cette manière, aucun plante ne pourrait vivre longtemps et fructifier; cependant Spallanzani affirme que ses rameaux de chanvre ainsi hermétiquement renfermés fleurirent et produisirent des graines fécondes. Cette observation pourrait inspirer des doutes sur la sexualité des plantes, s'il n'était évident que Spallanzani a donné par l'imagination plus d'extension à son expérience qu'elle n'en a eu réellement.

La substance fécondante des étamines est contenue dans les grains du pollen, lesquels sont de petites cellules qui contiennent un liquide rempli de granules. Le célèbre Bernard de Jussieu a vu les grains de pollen crever avec explosion lorsqu'il les mettait sur l'eau, et le liquide qu'ils contenaient s'étendre sur la surface de ce liquide. On a conclu de cette observation que lorsque les grains de pollen étaient déposés sur le stigmate, ils crevaient par l'effet de l'humidité de cet organe femelle, et lançaient ainsi sur sa surface le liquide fécondant que cet organe absorbait ensuite. D'autres observateurs ont vu que l'explosion des grains du pollen n'avait point lieu sur le stigmate, et ils ont pensé que le liquide fécondant contenu dans ces grains transsudait simplement au travers de leur enveloppe. Cependant un phénomène des plus curieux, découvert déjà depuis longtemps par Needham, était tombé dans le plus profond oubli. Cet observateur avait vu que les grains du pollen produisent une sorte de boyau ou d'appendice tubuleux. M. Amici, en rappelant l'attention des savants sur ce fait oublié qu'il a constaté, a véritablement eu l'avantage de le découvrir une seconde fois. M. Adolphe Brongniart a poussé plus loin les recherches à cet égard : il a vu que l'appendice ou le prolongement végétatif produit par le grain de pollen s'introduit dans la substance du stigmate sur lequel ce grain est déposé. Le liquide granuleux que contient ce grain passe dans son appendice tubuleux et s'accumule à son extrémité qui se renfle un peu. Cette extrémité s'ouvre et verse le liquide fécondant lequel se trouve alors déposé dans les méats intercellulaires de la substance organique du stigmate. Cet organe femelle, couvert de grains de pollen dont les appendices tubuleux pénètrent dans sa substance, ressemble alors à une pelotte couverte d'épingles enfoncées jusqu'à la tête. Les grains de pollen sont ainsi des parties sexuelles mâles ou des sortes de *penis végétaux* qui, détachés du végétal, vont exercer leur fonction de copulation par eux-mêmes [1]. Ce fait curieux découvert par M. Ad. Brongniart a depuis été constaté par M. Amici [2].

J'ai étudié avec soin le phénomène de la production de l'appendice tubuleux des grains du pollen; voici ce que l'observation m'a appris. Cet appendice ne se manifeste point lorsque les grains de pollen sont tenus au sec; il faut nécessairement que ces grains soient en contact avec un corps humide, ou du moins soient dans un air chargé d'humidité pour que leur appendice tubuleux soit produit. Je place, par exemple, les grains de pollen dans un cristal de montre fort petit et très-aplati, recouvert par une lame de verre à la face inférieure de laquelle adhère une petite goutte d'eau; l'air que renferme cette petite cavité se sature bientôt d'humidité, et les grains de pollen produisent en vingt-quatre heures leur appendice tubuleux. Ceux de ces grains qui absorbent trop promptement et trop abondamment l'humidité crèvent sans produire d'appendice, et répandent immédiatement autour d'eux le liquide rempli de granules qu'ils contiennent; j'ai soumis de cette manière à l'expérience le pollen d'une grande quantité de végétaux, et j'ai acquis la certitude qu'il y a plusieurs familles végétales chez lesquelles les grains de pollen ne produisent jamais d'appendice, lorsqu'ils sont soumis au mode d'expérimentation que je viens d'indiquer : telles sont, par exem-

[1] Sur la génération et le développement de l'embryon dans les végétaux phanérogames.

[2] Note sur le mode d'action du pollen sur le stigmate. Ann. des Sc. nat., tome XXI, page 329.

ple, les liliacées et les crucifères. Chez les rosacées j'ai observé la production de l'appendice du grain de pollen dans les genres *prunus* et *pyrus* ; je ne l'ai point observé dans les genres *fragaria* et *rubus*. Chez toutes les labiées, et chez toutes les légumineuses il y a production de l'appendice des grains de pollen ; le pois (*pisum sativum*) est assez curieux à noter à cet égard ; les grains de pollen de cette plante sont semblables à de petits cylindres ; c'est du milieu de la longueur de chacun d'eux que naît l'appendice qui s'allonge perpendiculairement au petit cylindre duquel il est issu. Cet appendice se comporte, chez toutes les plantes où il existe, de la manière que M. Ad. Brongniart l'a observé : lorsqu'il a acquis toute son extension qui ne dépasse guère 0,3 de millimètre et qui n'est souvent que 0,1 de millimètre, son extrémité se renfle et finit par se percer; alors cette ouverture terminale donne issue au liquide rempli de granules que contient le grain de pollen et son appendice. Dans cette émission, le grain de pollen ne diminue point de volume ; ainsi ce n'est point par l'effet de la contraction de ses parois que le grain de pollen lance au dehors et par le bout de son appendice le liquide fécondant qu'il contient ; cette émission est évidemment due à l'état de turgescence toujours croissante que prend le grain de pollen par l'effet de l'eau introduite dans sa cavité par l'endosmose implétive ; lorsque cette turgescence est trop rapide, elle occasionne immédiatement la rupture de l'enveloppe du grain de pollen et l'épanchement du liquide fécondant qu'il contient : c'est ce qui a lieu lorsqu'on met les grains de pollen en contact immédiat avec l'eau.

L'influence de l'humidité sur l'extérieur du grain de pollen est la condition indispensable de sa turgescence et de l'émission du liquide fécondant qu'il renferme; la grande quantité d'eau que contient le tissu du stigmate est donc très-propre à opérer la turgescence des grains de pollen situés sur sa surface; l'humidité de l'atmosphère peut y contribuer, mais elle n'est pas indispensable pour que ce phénomène ait lieu : aussi remarque-t-on que la fécondation des plantes s'effectue parfaitement par un temps sec; elle est imparfaite, au contraire, et même souvent elle est nulle par un temps pluvieux : aussi les agriculteurs savent-ils par une expérience trop ancienne et trop fréquente pour être incertaine, qu'il ne succède point de fruits aux fleurs lorsque des pluies fréquentes ont eu lieu pendant la floraison ; cela a été observé pour la vigne comme pour la plupart des arbres fruitiers, il paraît qu'alors les grains du pollen mouillés par la pluie crèvent dans les anthères, que leur liquide fécondant se trouve perdu, et que, d'un autre côté, ce liquide fécondant, s'il se trouve épanché sur le stigmate, est entraîné par l'abondance de l'eau qui tombe sur cet organe. Ce fait seul suffirait pour prouver l'existence d'une fécondation chez les végétaux.

M. Ad. Brongniart a observé, après Gleichen, que les granules contenues dans le liquide fécondant qui est renfermé dans le grain de pollen, manifestent des mouvements spontanés lorsqu'ils sont suspendus dans l'eau ; il a pensé d'après cette observation que ces *granules polliniques* sont analogues aux *animalcules spermatiques*, et qu'ils sont doués comme eux de la faculté de se mouvoir volontairement. Le fait du mouvement des granules polliniques est incontestable; il a été vu par le célèbre Robert Brown, mais cet observateur a vu en même temps que tous les corps de la nature, lorsqu'ils sont réduits en molécules assez ténues pour être suspendues dans l'eau, présentent de même des mouvements en apparence spontanés. Il est donc bien probable que les mouvements des granules polliniques sont dus à la même cause, qui du reste est tout à fait inconnue.

M. Amici a observé que le liquide granuleux contenu dans les appendices des grains de pollen est soumis à une circulation pareille à celle que l'on observe dans les *chara* [1].

---

[1] Note sur le mode d'action du pollen sur le stigmate.

C'est très-probablement par les méats intercellulaires que le liquide fécondant parvient du stigmate aux ovules végétaux; mais par quelle voie parvient-il dans l'intérieur de ces derniers? Ici l'on peut tirer quelques lumières de l'observation de ce qui se passe dans la fécondation des œufs chez les animaux. Lorsque la fécondation s'opère sur des œufs pondus, comme cela a lieu chez les reptiles batraciens et chez les poissons, le fluide fécondant agit en touchant simplement la surface de ces œufs, qui probablement l'absorbent. J'ai fait voir dans mes *Recherches sur les enveloppes du fœtus*, en traitant de l'état de l'œuf des oiseaux avant la ponte, que cet œuf est complétement isolé dans l'ovaire et sans aucun lien organique avec lui. J'en ai conclu que le liquide fécondant, de quelque manière qu'il lui parvienne, n'agit sur lui qu'en touchant sa surface : il est donc bien certain que, chez les animaux, il n'y a point de *canal spécial* pour transmettre le liquide fécondant de la mère qui l'a reçu, dans l'*intérieur de l'ovule*. Il doit en être de même chez les végétaux. Cette considération doit donc porter à rejeter *à priori* l'hypothèse de l'existence d'un canal destiné à transmettre le liquide fécondant du stigmate *dans l'intérieur* de l'ovule végétal. Lorsque M. Turpin découvrit le petit canal dont l'ouverture béante sur la graine a reçu de lui le nom de *micropyle*, il pensa, et tout le monde crut avec lui, que ce canal était destiné à transmettre le liquide fécondant dans l'intérieur de l'ovule. Depuis, M. Turpin a abandonné cette opinion, et il considère le micropyle comme une ouverture en quelque sorte accidentelle et qui n'a aucune fonction physiologique. Je n'approuverai point l'abandon que M. Turpin fait de sa découverte; tout en reconnaissant que le micropyle n'est point un canal de fécondation, je ne le réduirai point, comme lui, à la nullité physiologique. Le développement considérable du canal dont le micropyle est l'ouverture béante prouve que ses fonctions sont en activité jusqu'à l'époque de la maturité de la graine; et il m'a été démontré, par des observations suivies, que ce canal est un *tube pneumatique* destiné à transmettre à l'intérieur de la graine l'air nécessaire à sa respiration et à celle de l'embryon. Si le micropyle servait à transmettre le liquide fécondant, il ne serait pas aussi développé qu'il l'est dans la graine mûre; car il est dans la nature de tous les organes, de cesser de se développer et même souvent de disparaître entièrement quand ils ont rempli complétement leurs fonctions et qu'ils ne servent plus à rien. Il est donc bien certain que le canal du micropyle est étranger à l'acte de la fécondation, acte qui, comme je viens de l'exposer, s'opère constamment par le simple contact du liquide fécondant sur la surface extérieure de l'ovule et jamais au moyen d'un canal qui pénètre dans son intérieur. On va voir ce fait général établi par l'observation chez les végétaux.

Pendant que la fleur se prépare à s'épanouir, pendant que les organes de la fécondation acquièrent le développement qui doit les rendre aptes à remplir leurs fonctions, l'ovule, encore à l'état d'extrême petitesse, présente des phénomènes très-importants et dont l'observation première appartient à Thomas Schmitz. Les observations de ce savant, faites en 1818, n'ont été publiées qu'en 1826 par M. Robert Brown, dans ses *Recherches sur la structure de l'ovule antérieurement à l'imprégnation*. Schmitz et M. Brown ont vu que l'ovule végétal avant la floraison, est composé d'un corps parenchymateux nommé *nucleus*, recouvert par deux enveloppes superposées, l'une *intérieure*, l'autre *extérieure*. Un certain nombre de jours avant la floraison, le *nucleus* se développe en grosseur sans que ses enveloppes participent à ce développement; il en résulte que la pointe de ce corps conique perce en les déchirant les enveloppes qui la recouvrent, et qu'elle se produit à nu dans l'intérieur de la cavité du péricarpe. L'ouverture de la membrane intérieure a été nommée *endostôme* par Schmitz, l'ouverture de la membrane extérieure a reçu de lui le nom d'*exostôme*. Ces faits, exposés dans l'ouvrage de M. R. Brown,

ont été reproduits dans deux mémoires fort importants qui ont été publiés depuis sur la structure de l'ovule végétal. Le premier est le mémoire de M. Ad. Brongniart cité plus haut; le second est le mémoire de M. de Mirbel, intitulé : *Nouvelles recherches sur la structure et les développements de l'ovule végétal* [1]. M. Ad. Brongniart donne le nom d'*amande* au *nucleus* de M. R. Brown; M. de Mirbel le nomme *le nucelle*, nom que j'adopte en lui donnant toutefois une terminaison masculine qui est plus en harmonie, ce me semble, avec nos formes grammaticales; je nommerai donc le *nucleus* de M. R. Brown, *le nucel*. Avant d'entrer dans l'examen des développements que subit cet organe, il est nécessaire de jeter un coup d'œil sur la nomenclature des enveloppes séminales d'après les différents auteurs.

Les premières observations sur les enveloppes de l'ovule végétal sont dues à Grew et à Malpighy. Le premier ne reconnaît que deux enveloppes à l'ovule; ce sont, de dedans en dehors, le *test* et la *membrane moyenne*. Malpighy établissant une analogie imaginaire entre les enveloppes du fœtus des animaux mammifères et celles de l'embryon végétal, admet trois enveloppes dans l'ovule des végétaux; ces trois enveloppes sont, de dedans en dehors, l'*amnios*, le *chorion* et la *secondine externe*. De célèbres carpologistes qui sont venus ensuite se sont exclusivement attachés à l'étude des organes de la graine parvenue à la maturité ou voisine de cette époque. Ils ont négligé l'étude de l'ovule naissant. Tel est le célèbre Gœrtner dont la carpologie est un livre classique; tel est L. C. Richard dans son *Analyse du fruit* et dans son Mémoire sur les embryons monocotylédonés [2]. De Jussieu a fait paraître aussi de savantes recherches sur le même sujet dans son *Genera plantarum*. L'étude spéciale de l'ovule a été reprise depuis par M. Treviranus. Il ne lui reconnaît que deux enveloppes qu'il nomme *tunique interne* et *tunique externe*. M. de Mirbel, dans ses premiers travaux sur le développement des ovules dans les ovaires des plantes [3], ne reconnaissait à l'ovule que deux enveloppes qu'il nommait *tegmen* et *lorique*. J'adoptai ces deux noms dans mes *Observations sur le développement des ovules et des embryons séminaux dans les ovaires* publiées en 1820 [4]. Cependant, reconnaissant trois enveloppes à l'ovule, je conservai le nom de *lorique* à l'enveloppe la plus extérieure et celui de *tegmen* à l'enveloppe immédiate de l'embryon. Je donnai le nom d'*énéilême* à la troisième enveloppe intermédiaire aux deux précédentes. M. R. Brown ne reconnaît à l'ovule que deux tuniques, l'une *interne*, l'autre *externe* recouvrant le *nucleus*, qui est lui-même l'enveloppe immédiate de l'embryon. Cependant il admet qu'il existe quelquefois une quatrième enveloppe intérieure au *nucleus* et qui alors revêt immédiatement l'embryon; il lui donne le nom de *membrane additionnelle*.

M. Ad. Brongniart, reproduisant la théorie de M. Brown, change seulement les noms imposés aux enveloppes de l'embryon végétal par ce dernier botaniste. Il nomme *testa* la tunique externe et *tegmen* la tunique interne qui recouvre immédiatement l'*amande* (*nucleus*). Il donne le nom de *sac embryonaire* à la *membrane additionnelle* qui revêt immédiatement l'embryon, et il admet la généralité de l'existence de cette quatrième enveloppe.

M. de Mirbel, dans son dernier travail, reconnaît cinq enveloppes à l'embryon végétal, et il les désigne par les noms numériques de *primine*, *secondine*, *tercine*, *quartine* et *quintine*. Cette dernière est l'enveloppe immédiate de l'embryon. Ces enveloppes sont toutes imperforées dans l'origine et sont emboîtées les unes dans les autres. De très-bonne heure la secon-

[1] Annales des Sciences naturelles, tome XVII.
[2] Annales du Muséum d'histoire naturelle, tome XVII.
[3] Bulletin des Sciences de la Société philomatique. 1813.
[4] Mémoires du Muséum d'histoire nat., t. VIII.

dine, par son développement, rompt et perce la primine à son sommet par lequel elle émerge; en même temps la tercine en fait autant par rapport à la secondine. Ces deux ouvertures sont *l'exostôme* et *l'endostôme* de T. Schmitz et R. Brown.

La tercine imperforée s'allonge en cône en sortant par ces deux ouvertures, et M. de Mirbel lui donne le nom de *nucelle*. Dans son intérieur apparaît la *quartine* assez rarement apercevable, et dans l'intérieur de cette dernière, se trouve constamment la *quintine*, enveloppe immédiate de l'embryon; quelquefois il arrive que le nucel émerge d'une seule enveloppe extérieure perforée, comme cela a lieu chez le noyer (*juglans regia*). M. de Mirbel, qui admet que ce nucel est toujours une *tercine*, suppose que, dans cette circonstance, la *secondine* manque; on pourrait dire tout aussi bien que c'est la *primine* qui est absente; on pourrait également, ce me semble, admettre que chez le noyer le nucel serait formé par la secondine imperforée, au lieu d'être formé par la tercine imperforée comme ci-dessus. Il y a, comme on le voit, beaucoup d'incertitude dans cette théorie: cette incertitude existe de même par rapport à la *quartine* et à la *quintine*. M. de Mirbel admet que l'enveloppe immédiate de l'embryon est toujours une *quintine*, en sorte que lorsque la quartine ne s'observe pas, il pense que cela provient de ce qu'elle a disparu. Mais ne serait-il pas possible que l'enveloppe immédiate de l'embryon fût réellement une *quartine*? C'est une question qui sera examinée plus bas; je me bornerai ici à l'exposition d'une seule considération. Les enveloppes séminales sont véritablement des feuilles rudimentaires formant des cavités closes et indéhiscentes, ainsi que l'a avancé M. Turpin [1]: ce sont de véritables *piléoles* qui tantôt sont percées à leur sommet par le développement des piléoles qu'elles recouvrent, et qui tantôt se développent avec elles en conservant leur cavité complétement close. Or chacune de ces enveloppes séminales est composée, comme la feuille, d'un parenchyme cellulaire compris entre deux cuticules plus ou moins distinctes; il est possible que ces cuticules soient prises séparément pour des enveloppes séminales particulières; il est possible encore que le parenchyme intermédiaire, s'il possède une certaine épaisseur et une nature particulière, soit pris pour un organe à part: c'est effectivement ce qui est arrivé, c'est souvent ce parenchyme épaissi qui a reçu le nom de *périsperme* ou d'*endosperme*. On a considéré ce *périsperme* comme une substance sans organisation, produite par sécrétion et disposée dans certaines cavités; cette erreur a persisté malgré les observations positives et contradictoires que j'avais publiées sur cet objet, observations qui seront reproduites plus bas, et qui prouvent que ce que l'on nomme le *périsperme* n'est point une substance sécrétée, mais bien un organe déterminé, lequel a subi un développement d'une nature particulière, et que même cet organe n'est point à beaucoup près le même chez tous les végétaux.

L'idée qu'a eue M. de Mirbel de désigner les enveloppes de l'embryon végétal par de simples noms numériques, est très-philosophique et je m'y conformerai. Cependant, cette nomenclature offre un inconvénient qui rendra son adoption générale très-difficile. Les graines, en parvenant à leur maturité, ne présentent plus le même nombre d'enveloppes qu'elles offraient lorsqu'elles étaient à l'état d'ovules; ces enveloppes disparaissent souvent en se soudant les unes aux autres. Il résulte de là que, lorsqu'on observe une graine mûre ou voisine de sa maturité, on ignore quel est le nom numérique que l'on doit donner à celles de ses enveloppes qui restent apercevables et distinctes. Si donc il est bon de désigner les enveloppes de l'ovule par des noms numériques dont l'ordre successif est de l'extérieur à l'intérieur, il est peut-être nécessaire de désigner les enveloppes de la graine mûre par d'autres noms. Il est nécessaire, par

[1] Essai d'une iconographie élémentaire et philosophique des végétaux.

exemple, que l'enveloppe immédiate de l'embryon porte un nom qui ne varie point. Or, il m'est démontré que l'embryon végétal n'a pas toujours le même nombre d'enveloppes, et que par conséquent celle qui l'entoure immédiatement n'est pas toujours une *quintine*, ainsi que l'admet M. de Mirbel. Il devient donc nécessaire de désigner cette enveloppe immédiate de l'embryon par un nom particulier; j'adopterai le nom de *sac embryonaire* qui lui a été donné par M. Ad. Brongniart. Après cette discussion préalable sur la nomenclature des enveloppes de l'ovule végétal, j'aborde l'exposition de mes observations particulières sur le développement de cet ovule chez plusieurs végétaux.

§ I. *Observations sur l'ovule de l'amandier* (amygdalus communis).

Il y a deux ovules dans l'ovaire de l'amandier, mais il en avorte presque toujours un. Ces deux ovules de forme conique, ont leur pointe placée près de la base du style, comme on le voit dans la figure 4 (planche 19). Cette position est importante à remarquer. Lorsque le bouton de la fleur commence à se développer et que les pétales ne se montrent pas encore au dehors, les ovules ne présentent rien de remarquable; l'un d'eux est représenté par la figure 5. Lorsque les pétales commencent à montrer leur pointe qui dépasse le calice, on voit un petit corps pointu et demi-transparent *a* (figure 6), qui a percé l'enveloppe extérieure de l'ovule à sa pointe et qui se produit à nu dans la cavité de l'ovaire. Ce petit corps pointu est le sommet du nucel. L'ouverture qui lui donne issue est due à la rupture de la *primine*, ou enveloppe extérieure de l'ovule. Cette ouverture est l'*exostôme* de Schmitz; cet état de l'ovule dure jusqu'à la floraison. Ainsi, la primine est ici la seule enveloppe de l'ovule qui soit percée par la pointe du nucel; il n'y a point, par conséquent, d'*endostôme*. La même chose s'observe dans les ovules du genre *prunus* et dans ceux du genre *pyrus*. M. de Mirbel a déjà noté qu'il en est de même de l'ovule du *juglans regia*; ainsi l'existence des deux enveloppes de l'ovule qui, selon M. R. Brown, recouvrent le nucel est bien loin d'être générale. C'est évidemment afin de recevoir l'influence du fluide fécondant, que le nucel met sa pointe à nu dans la cavité de l'ovaire. L'extrême délicatesse du tissu de cet organe le rend en effet éminemment propre à être pénétré par le liquide qui le baigne. Ce liquide à l'époque de la floraison remplit toute la partie de la cavité de l'ovaire qui n'est pas occupée par les ovules; quelques jours avant cette époque, on ne l'aperçoit pas encore. C'est de la séve versée par transsudation dans la cavité de l'ovaire; il paraît que c'est cette séve qui, mêlée à quelques parcelles du fluide fécondant fourni au stigmate par le pollen, opère la fécondation du nucel par le seul fait de son contact avec cet organe. C'est ainsi que le sperme des batriciens et des poissons, mêlé à l'eau, féconde leurs œufs. C'est de la pointe *a* du nucel (fig. 6) qu'apparaîtra plus tard l'embryon comme on va le voir tout à l'heure. Cette pointe est située près de la base du style (fig. 4); ainsi, elle est placée de la manière la plus convenable pour recevoir le liquide fécondant qui descend du stigmate, mêlé très-probablement à la séve descendante et transmis avec elle par les méats intercellulaires, ainsi que l'admet M. Ad. Brongniart.

Peu de jours après la chute de la corolle, la primine perforée par la pointe du nucel s'accroît et recouvre de nouveau la pointe saillante de cet organe, pointe qui elle-même s'est arrondie en devenant plus grosse. Le nucel se trouve donc de nouveau complétement enveloppé par la primine. C'est ici qu'avaient commencé mes observations publiées en 1820. J'avais distingué l'existence de l'enveloppe extérieure de l'ovule et celle du nucel que je nommais *petit corps parenchymateux*, mais je n'avais point vu que ce petit corps ou ce nucel avait percé antérieurement son enveloppe. Les développements subséquents que subit le nucel ont été exposés dans mon ouvrage avec le plus grand détail, et cela six ans avant la publication qu'a faite M. R. Brown des observations

de T. Schmitz. J'ai donc lieu d'être surpris du peu de justice que m'ont rendue à cet égard ceux qui ont traité depuis le même sujet d'anatomie végétale. Je vais reproduire ici mes observations, en changeant seulement la nomenclature que j'avais adoptée alors pour les enveloppes de l'ovule.

Un mois et demi après la floraison, l'ovule assez développé offre dans l'intérieur de la pointe du nucel un corps qui, d'abord fort petit, grossit peu à peu et se présente sous la forme que l'on voit en *a* (fig. 7); ce corps parenchymateux et transparent porte à sa suite trois corps de même nature *b*, auxquels je donne le nom d'*hypostates* [1], à cause de leur position à la partie inférieure du corps *a* qui, comme on va le voir tout à l'heure, est l'enveloppe immédiate de l'embryon. Les trois hypostates sont suivies par un prolongement *c* qui aboutit à la base de l'ovule. En examinant au microscope le prolongement *c*, on voit qu'il est composé d'articles placés les uns à la suite des autres. Les hypostates *b* sont des articles développés et épaissis. Le corps parenchymateux *a* est le dernier des articles; c'est aussi le plus développé. A cette époque, on s'aperçoit que le nucel *a* est un sac dont les parois fort épaisses sont contiguës à l'intérieur. C'est une *secondine* composée d'une cuticule extérieure en contact avec la primine, d'un tissu cellulaire parenchymateux et d'une cuticule intérieure d'une extrême ténuité. Si l'on presse ce sac entre les doigts dans la direction *ff*, c'est-à-dire dans le sens opposé à celui de son aplatissement, les parois contiguës s'éloignent et la cavité du sac se manifeste. On voit alors que le corps filiforme *a b c* est contenu dans cette cavité qui est close de toutes parts. Le point *g* auquel il aboutit inférieurement est l'unique endroit d'adhérence organique qui existe entre le nucel ou la secondine *d d* et la primine *ff*. Cette adhérence s'opère au moyen d'un plateau articulaire semblable à celui qui unit un gland à sa cupule. C'est dans cet endroit qu'aboutit un faisceau vasculaire qui part du point *i* qui est le hile, et qui, dans son trajet, est contenu dans l'épaisseur de la primine *ff*; ce faisceau vasculaire est une râphe qui se termine en formant le second hile, ou hile interne, au point *g*. Le corps parenchymateux *a* se prolonge en pointe dans le petit cône creux que forme la primine à son sommet. C'est dans l'intérieur de ce corps *a* et dans l'endroit qu'occupera dans la suite la radicule que naît l'embryon. Ce corps *a* est donc la tercine et le sac embryonaire. On aperçoit d'abord l'embryon à la loupe comme une molécule blanche et sphérique *o*. Bientôt ce petit globe se divise en deux parties qui forment les cotylédons, comme on le voit en *o* (fig. 8). Cette figure représente seulement le sac embryonaire *a* contenant l'embryon, et suivi de ses trois hypostates. J'ai fait cette observation extrêmement délicate vers le cinquante-cinquième jour après la floraison.

Cependant l'embryon isolé dans le sac embryonaire continue de s'accroître; ce sac s'accroît encore plus rapidement. Son accroissement s'opère aux dépens des sucs qui gonflent le tissu cellulaire de la secondine dans l'intérieur de laquelle il est contenu. Cette dernière se trouve bientôt réduite à n'occuper qu'une place de peu d'étendue à la base de l'ovule. La figure 9 représente l'état de l'ovule quatre-vingts jours après la floraison; *ff* est la primine dans l'épaisseur de laquelle est la râphe *ig*; la secondine parenchymateuse *d d* occupe encore un petit espace à la base de l'ovule, dont la cavité presque entière est envahie par la tercine parenchymateuse ou par le sac embryonaire *a* et par les hypostates *b* qui se sont groupées irrégulièrement à sa base. On voit alors que le sac embryonaire *a* est composé : 1° d'une cuticule extérieure en contact avec la cuticule intérieure de la secondine; 2° d'un tissu cellulaire parenchymateux; 3° d'une cuticule intérieure extrêmement fine. Ainsi il ne diffère point, quant à son organisation, de la secondine, dans l'intérieur de laquelle il est

[1] Mot dérivé de ὑπο στασις *qui est situé au-dessous*.

contenu. L'embryon *o* n'occupe encore qu'un petit espace au sommet de l'ovule et dans l'intérieur du sac embryonaire ou de la tercine qui l'enveloppe de toutes parts. Les cotylédons devenus aplatis sont appliqués l'un contre l'autre.

Vers le quatre-vingt-dixième jour après la floraison, la cavité entière de la primine est occupée par le sac embryonaire et par ses hypostates; le nucel ou la secondine a disparu complétement; ses deux cuticules intérieure et extérieure sont devenues adhérentes par la disparition du tissu cellulaire rempli de sucs qui les séparait, et dans cet état elles se sont confondues par adhérence avec la paroi interne de la primine. Cependant les cotylédons prennent un accroissement progressif. Cet accroissement s'opère aux dépens des sucs contenus dans le tissu cellulaire du sac embryonaire, qui joue ici le rôle de périsperme de même que les hypostates. Vers le centième jour après la floraison, l'embryon remplit la cavité tout entière de l'ovule. Le sac embryonaire parenchymateux a disparu ainsi que ses hypostates; réduit à ses deux cuticules intérieure et extérieure par l'absorption des sucs qui remplissaient son tissu cellulaire, il s'est confondu par adhérence avec la secondine, dont les débris doublaient déjà la paroi interne de la primine. Ainsi l'enveloppe qui revêt immédiatement l'amande parvenue à sa maturité est l'assemblage de trois enveloppes devenues intimement adhérentes. Savoir : la primine, la secondine ou nucel, et la tercine ou sac embryonaire. On voit, par cette observation, que le nucel n'est pas toujours une tercine, ainsi que l'admet M. de Mirbel qui a suivi en cela M. R. Brown; il est bien évident ici, de même, que le sac embryonaire n'est pas toujours une quintine.

La position de l'embryon par rapport au végétal qui le porte est fort digne de remarque. La radicule de l'embryon de l'amandier est véritablement *ascendante*; elle est par conséquent *inverse*. On dit que la radicule d'un embryon est inverse lorsque sa pointe est dirigée vers le point de la graine diamétralement opposé au hile. Dans l'ovule de l'amandier, la radicule présente le côté au hile extérieur, ce qui la fait considérer par les botanistes comme étant *latéralement adverse*. Mais la direction de la radicule vers le hile extérieur ne mérite aucune attention; la seule chose qu'il soit important de considérer dans cette circonstance, c'est la position de l'embryon par rapport à la direction du funicule; car ce dernier étant véritablement la continuation de la tige du végétal, ses rapports de position avec l'embryon détermineront d'une manière exacte la position de l'embryon par rapport au végétal qui le porte. Dans l'ovule de l'amandier, on peut suivre les vaisseaux du funicule depuis le point *i* (fig. 8), qui est le point de suspension de l'ovule au péricarpe, jusqu'au point *g*. Le funicule forme une râphe dans l'épaisseur des parois de la primine. Le corps filiforme articulé *c* offre la continuation du funicule dont les hypostates *b* sont la dernière extrémité. Par conséquent l'embryon est véritablement renversé; il oppose sa tige à celle du végétal qui le porte : la radicule de l'embryon est par conséquent *inverse*.

§ II. — *Observations sur l'ovule du fusain* (evonymus europæus).

C'est au commencement de mai que le fusain fleurit; ses ovules peuvent s'apercevoir quinze jours avant; ils sont au nombre de deux dans chacune des quatre loges du fruit. Ces ovules ne présentent aucune des deux ouvertures désignées sous les noms d'*endostóme* et d'*exostóme*. C'est un fait dont je me suis assuré de la manière la plus positive. Ces ovules fécondés prennent de l'accroissement et un mois environ après, on commence à voir qu'ils sont fixés par leur partie latérale et inférieure chacun dans une petite cupule *f* (fig. 10, pl. 19); l'ovule possède dans l'épaisseur de sa tunique une râphe *i* qui fait saillie et qui aboutit à un hile interne *d* situé au sommet de l'ovule; cette râphe transmet l'extrémité du funicule aux organes situés dans l'intérieur de l'ovule.

Plus tard la cupule *f* qui est verte et membraneuse se développe davantage et finit en quinze jours par recouvrir la totalité de l'ovule. Dans ce développement ses bords viennent se réunir, mais sans se souder au sommet *d* de l'ovule, lequel se trouve ainsi enveloppé après coup par une coiffe membraneuse dans l'intérieur de laquelle il est renfermé comme dans une bourse ouverte à son sommet. Cette coiffe membraneuse est l'*arille* qui, verte dans l'origine, prend une couleur orangée lorsque la graine approche de sa maturité.

L'ovule un peu plus âgé que celui qui est représenté par la figure 10, pl. 19, étant dépouillé de son arille et coupé longitudinalement, offre la structure représentée par la figure 11. *C* enveloppe externe ou primine dans l'épaisseur de laquelle est située la râphe *i*, qui vient du hile externe *e* et qui aboutit au hile interne *d;* cette enveloppe est blanche et elle devient rouge lors de la maturité. Au-dessous de la primine se trouve une enveloppe molle et pulpeuse *b*, c'est la secondine qui par sa face interne s'accroît en végétant par un développement centripète. Cette couche de substance molle est le périsperme naissant qui, par son accroissement graduel, tend à remplir toute la cavité *h* de l'ovule, cavité qui est remplie par un liquide organique diaphane. En observant superficiellement ce périsperme, on croirait que c'est tout simplement une matière versée par sécrétion dans la cavité de l'ovule; cette matière, observée deux mois après la floraison, n'a presque point de consistance, et ressemble plutôt à une matière lactescente épaisse qu'à un tissu organique; mais l'examen microscopique démontre sa véritable nature. Une tranche mince de l'ovule étant détachée avec précaution et soumise au microscope, on voit que cette matière lactescente épaisse qui est demi-transparente est un tissu organique qui s'est accru par couches successives de l'extérieur vers l'intérieur, exactement comme cela a lieu pour l'écorce chez les arbres dicotylédons. Les couches de cette substance sont opaques et sont séparées les unes des autres par des espaces transparents. Chaque couche est composée de cellules, et chacune de ces cellules contient une multitude de globules blancs et opaques qui sont des grains de fécule; les cellules sont articulées en séries rectilignes, lesquelles convergent toutes vers le centre de la graine. Cette disposition est semblable à celle que j'ai décrite dans le VI[e] Mémoire pour la graine du *tamus communis* (planche 10, figure 4); seulement, chez cette dernière graine, il n'y a point de couches distinctes les unes des autres dans ce tissu cellulaire rayonné. Dans l'ovule du fusain (pl. 19, fig. 11), l'embryon naissant *a* est situé à la base de l'ovule dont il envahit ensuite la cavité où il se trouve environné par le périsperme; il est très-certain que ce dernier n'est point le résultat d'une sécrétion quoiqu'il ressemble dans le principe à une pulpe lactescente, il est produit par un véritable accroissement végétatif. Si cette pulpe lactescente était effectivement sécrétée par la face interne de la secondine, on verrait la partie la plus nouvelle de cette pulpe à l'extérieur, et la partie la plus ancienne à l'intérieur : or, c'est le contraire qui s'observe. D'ailleurs cette pulpe est composée de cellules articulées en séries convergentes, et ces cellules contiennent des grains de fécule; elle offre donc un véritable tissu organique et non le résultat d'une sécrétion. Le périsperme est donc ici la secondine accrue progressivement en épaisseur par un accroissement végétatif centripète. La disposition de son tissu cellulaire par couche distinctes est un phénomène très-remarquable et dont il est difficile d'apercevoir la cause.

Ainsi l'ovule du fusain ne possède que deux enveloppes primitives, savoir : une primine membraneuse et une secondine périsperme. A ces deux enveloppes s'adjoint ensuite l'arille. L'embryon *a*, de couleur verte et globuleux dans le principe, se divise bientôt en deux cotylédons; il est remarquable qu'il apparaît au point opposé à celui de l'insertion *d* du funi-

cule *i*. Ainsi, cet embryon n'a aucun rapport organique avec le hile interne *d*; mais dans le principe il est uni organiquement par un pédicule avec le hile externe *e*. L'existence de ce pédicule atteste l'existence du sac embryonaire auquel ce pédicule appartient. Ce sac embryonaire est excessivement mince; il enveloppe immédiatement l'embryon, et il disparaît promptement; il est le dernier article du véritable funicule, lequel est extrêmement court, et qui part du hile externe *e*. La râphe *i*, qui aboutit au hile interne *d*, doit être considérée comme une ramification du funicule véritable. La figure 12 (pl. 19) représente la coupe longitudinale de la graine du fusain parvenue à sa maturité : *a*, embryon qui par son développement a envahi la cavité de la *secondine périsperme b*; *c*, primine dans l'épaisseur de laquelle est située la râphe *i*, laquelle commence au hile externe *e*, et aboutit au hile interne *d*. L'arille *f* offre en *g* l'ouverture de son sommet.

§ III. — *Observations sur l'ovule du* pisum savitum (*famille des légumineuses*).

Les ovules du *pisum sativum* sont apercevables dans l'ovaire avant la floraison. Lorsque après la fécondation ils se sont un peu développés, on voit qu'ils offrent deux enveloppes, et une petite cavité, remplie d'un liquide diaphane, se manifeste dans leur centre. L'enveloppe extérieure *e* (fig. 3, pl. 20) est verte et opaque; elle contient dans son épaisseur une râphe ou *prostype funiculaire*, qui s'étend du hile externe *f* au hile interne *g*. Cette enveloppe est la primine. Au-dessous d'elle se trouve une couche diaphane et molle *d*; c'est la secondine qui, par l'extrême mollesse de son tissu, paraît former une sorte de périsperme, lequel, au reste, n'est que temporaire : il se dessèche et disparaît en se confondant avec la primine lors de la maturité de la graine. L'embryon, de couleur verte, se présente, dans l'origine, sous la forme d'un globule, situé dans l'épaisseur de la *secondine périsperme d*, comme on le voit en *a* dans la figure 1 de la planche 20, qui représente seulement la portion de l'ovule dans laquelle naît l'embryon. Ce dernier est uni par un pédicule à un autre globule *b*, demi transparent; ce dernier est uni de même par un pédicule à un corps oblong *c*, demi transparent comme lui. Les deux globules *b c* sont évidemment des hypostates. Leur existence prouve que l'embryon possède un sac embryonaire ou une tercine, trop mince pour pouvoir être aperçue dans les premiers temps. C'est ainsi, en effet, qu'on voit dans l'ovule de l'amandier (fig. 7 et 8, pl. 19) l'embryon contenu dans un sac embryonaire suivi de trois hypostates. Si on examine l'embryon au microscope, on voit de la manière la plus évidente qu'il ne présente aucune division; c'est un corps parfaitement sphérique chez lequel on ne distingue ni radicule ni cotylédons. Peu de temps après, l'embryon sort du tissu diaphane de la secondine dans lequel il était plongé, et il se montre dans la cavité de l'ovule. Bientôt il cesse d'être complétement sphérique; sa partie opposée à celle qui regarde l'hypostate *b* s'ouvre spontanément en deux demi-calottes, qui sont les rudiments des deux cotylédons *a* (fig. 2, pl. 20); dans leur intervalle on voit la pointe de la plumule *d*. Plus tard la radicule commence à se manifester par l'apparition d'un mamelon arrondi sur la partie opposée à la plumule.

Ce n'est que lorsque l'embryon remplit à peu près le tiers de la cavité de l'ovule qu'il devient possible d'apercevoir le sac embryonaire d'une minceur extrême qui l'enveloppe immédiatement; il est exactement collé sur les cotylédons. Ce sac embryonaire est fort difficile à apercevoir; cependant je l'ai vu de la manière la plus distincte; il paraît qu'il a été rompu lorsque l'embryon a commencé à développer ses cotylédons, et que ses débris sont restés collés sur ces derniers. La figure 5, planche 20, représente l'ovule du *pisum sativum* à l'époque dont je parle. L'embryon *a* est suspendu à ses deux hypostates *b c* dans la cavité de l'ovule où il est placé de côté. L'hypostate *c* est orga-

niquement unie avec une râphe au *prostype funiculaire* qui est situé dans l'épaisseur de l'enveloppe extérieure ou de la primine *e*, et qui perce la secondine *d* au sommet *g* de l'ovule, là où était primitivement situé l'embryon *a* (fig. 1, pl. 20). Lorsque la graine approche de sa maturité la radicule fait un crochet qui la dirige vers le hile extérieur *f*, elle est alors *adverse*. Dans l'origine cette radicule était dirigée vers le hile intérieur *g* (fig. 2); elle était alors *inverse* par rapport au hile extérieur. Lorsque l'embryon était placé de côté (fig. 3), sa radicule était *latéralement adverse*. Ces observations prouvent que ce n'est point par rapport au hile extérieur qu'il faut déterminer la position de l'embryon, mais bien par rapport à l'insertion intérieure du funicule.

Spallanzani [1], qui a observé le développement de l'embryon chez le *vicia faba*, le *cicer arietinum*, et chez d'autres légumineuses, pretend que chez ces végétaux l'embryon est uni organiquement avec la graine, et il en conclut qu'il préexiste à la fécondation. Il est évident que Spallanzani s'est laissé induire en erreur sur cet objet. C'est par le moyen de son sac embryonaire, que l'embryon est attaché aux parois de l'ovule: or, comme ce sac embryonaire, d'une extrême ténuité, est collé sur l'embryon, il a cru que c'était l'embryon lui-même qui était uni organiquement avec la graine.

§ IV. — *Observations sur la graine du* fagus castanea (*famille des amentacées*).

Ce n'est que plus d'un mois après la floraison du *fagus castanea* que l'on commence à apercevoir les ovules. Ils sont situés près de la base des styles et au sommet d'un placentaire central; ils sont enveloppés par de nombreuses productions semblables à des poils qui remplissent la cavité de la carcérule membraneuse et coriace qui forme la tunique extérieure du gland, tunique qui n'est point une enveloppe séminale proprement dite, mais bien un véritable péricarpe, puisque elle porte les styles.

Les ovules nombreux que contient chaque gland du *fagus castanea* avortent pour la plupart; il n'y en a ordinairement qu'un, et quelquefois deux seulement, qui se développent. Si l'on observe ces ovules environ deux mois après la floraison, on les trouve composés d'une enveloppe extérieure *a* (fig. 5, pl. 20) qui reçoit l'insertion du funicule *b*. Dans l'intérieur de cette enveloppe se trouve un périsperme extrêmement delicat *c*, lequel offre une cavité *i* dans son intérieur. L'embryon *d* est complétement extérieur à ce périsperme, dont la pointe conique est embrassée de chaque côté par les deux cotylédons courbés en gouttière l'un vers l'autre. En enlevant l'embryon, on met à découvert cette pointe conique du périsperme que l'on trouve recouverte par une cuticule. En continuant de se développer, les cotylédons se glissent entre l'enveloppe extérieure *a* et le périsperme creux *c*; de membraneux qu'ils étaient dans le principe, ils deviennent épais et farineux. Bientôt le périsperme étant complétement absorbé, l'embryon remplit à lui seul la cavité de l'ovule; il n'est recouvert que par la seule enveloppe extérieure *a*. Plus tard l'ovule, par son développement, remplit la cavité de la carcérule.

Cette observation offre manifestement un embryon extérieur au périsperme. Celui-ci n'est point une simple couche muqueuse inorganique, comme on pourrait le croire au premier coup d'œil, c'est une partie organisée, composée d'un tissu cellulaire extrêmement délicat, compris entre deux cuticules, l'une extérieure et l'autre intérieure: celle-ci tapisse la cavité que forme le périsperme. Quel est donc cet organe qui constitue ici le périsperme et auquel l'embryon est extérieur? Des observations plus rapprochées de l'époque de la floraison que celle que je viens de rapporter m'ont dévoilé ce mystère.

L'embryon du *fagus castanea*, comme celui de l'*amygdalus communis*, montre

[1] Mémoire sur la génération de diverses plantes.

ses premiers rudiments sous l'apparence d'un point blanchâtre dans la petite cavité conique que forme à son sommet l'enveloppe extérieure de l'ovule; cavité qui, dans la suite, logera la radicule. Sa première apparition a lieu lorsque l'ovule offre à peine deux millimètres de longueur. Pour l'apercevoir, il faut disséquer l'ovule à la loupe et dans l'eau; car cette observation est des plus délicates. De cette manière on voit que, dans l'origine, l'embryon *d* est renfermé dans une enveloppe particulière *g* (fig. 4, pl. 20); cette enveloppe se prolonge comme un boyau dans l'intérieur de la cavité conique *h*, dans laquelle elle est ordinairement ployée irrégulièrement. Cette enveloppe membraneuse primitive est le sac embryonaire; il est continu avec le périsperme creux *c* qui est situé plus bas. Ce périsperme creux est par conséquent une hypostate. Son entière analogie avec l'hypostate qui est située à la partie inférieure du sac embryonaire dans l'ovule de l'*amygdalus communis*, est évidente. Il suffit de jeter les yeux sur la figure 7 (pl. 19) pour se convaincre de l'analogie. On voit dans cette figure le sac embryonaire *a* contenant l'embryon; ce sac embryonaire présente à sa partie inférieure une hypostate *b* suivie de deux autres. Les seules différences qui se présentent ici sont : 1° que chez l'*amygdalus* il y a trois hypostates les unes à la suite des autres, tandis que chez le *fagus castanea*, il n'y en a qu'une seule; 2° que chez le premier, le sac embryonaire est plus développé que l'hypostate qui est située à sa partie inférieure, tandis que chez le second le sac embryonaire est de beaucoup inférieur en développement à l'hypostate qui est parenchymateuse et succulente.

Le sac embryonaire de l'embryon du *fagus castanea* est rompu de très-bonne heure par le développement des cotylédons, qui, comme je l'ai dit, se glissent entre l'enveloppe extérieure de l'ovule et le périsperme : ce sac embryonaire microscopique ne tarde point à disparaître après sa rupture; de sorte que l'enveloppe extérieure de l'ovule devient l'enveloppe immédiate de l'embryon.

D'après ces observations, on voit que l'embryon du *fagus castanea* possède seulement une primine et un *sac embryonaire*; ce dernier a pour annexe une hypostate qui constitue le périsperme extérieur à l'embryon entre les cotylédons duquel il finit par être situé.

L'on ignorait, avant mes observations, que l'embryon du *fagus castanea* eût un périsperme. Dans la famille des amentacées, à laquelle ce végétal appartient, la graine passe pour en être dépourvue.

L'ovule du *juglans regia* offre, comme celui du *fagus castanea*, un embryon extérieur à un périsperme creux dont le tissu est d'une extrême délicatesse. Je pense que cette disposition provient d'une organisation pareille à celle que l'on vient d'observer.

§ V. — *Observations sur la graine du galium aparine (famille des rubiacées).*

Le fruit du *galium aparine* est une diérésile (Mirbel) composée de deux coques indéhiscentes qui contiennent chacune un embryon. Ces coques hérissées de poils en dehors sont les péricarpes des graines; au-dessous se trouve le périsperme d'apparence cornée, représentant un sac convexe d'un côté et concave de l'autre. L'embryon est situé dans la cavité de ce périsperme qui est une véritable enveloppe séminale dont le parenchyme a pris une certaine consistance. C'est un sac embryonaire épais, lequel est ployé autour d'un placentaire sphérique et de couleur verte. Le sac embryonaire n'adhère que par un seul point à ce placentaire; c'est son point d'insertion. La figure 7, pl. 20 représente cette graine complétement développée et coupée verticalement; *a* péricarpe hérissé de poils; *bb* sac embryonaire épais ou périsperme; *c* placentaire de couleur verte; *d* hile ou point d'insertion du sac embryonaire épais au placentaire; *f* embryon contenu dans la cavité du sac embryonaire et dont la radicule est inverse, puisqu'elle est tournée vers le point diamétralement opposé au point d'insertion du sac embryonaire. Si l'on

observe cette graine peu de temps après la floraison, on voit que le sac embryonaire épais n'enveloppe point encore complétement le placentaire. La figure 6, pl. 20, représente cette disposition. Dans cette figure et dans la figure 7 les mêmes lettres indiquent les mêmes objets. Ainsi l'enveloppement du placentaire par le sac embryonaire n'est point originaire ; il s'opère sous les yeux de l'observateur. Dans les premiers temps, il n'existe aucune adhérence entre le sac embryonaire épais et le placentaire, si ce n'est au point *d* qui est le hile ; mais lors de la maturité de la graine, il s'établit entre ces deux parties une adhérence complète, il n'est plus possible de les séparer. La même adhérence s'établit entre le sac embryonaire épais et le péricarpe *a*. Ces observations vont servir à expliquer quelques points obscurs de l'organisation de la graine des atriplicées et des nyctaginées.

§ VI. — *Observations sur la graine du* spinacia oleracea (*famille des atriplicées*).

La graine du *spinacia oleracea* est renfermée dans une induvie formée par le calice endurci. Au-dessous se trouve le péricarpe membraneux auquel aboutissent les styles. L'embryon filiforme est ployé en cercle autour d'un périsperme discoïde central et de nature farineuse. L'embryon est manifestement extérieur au périsperme. Voilà tout ce que l'on voit sur la graine parvenue à sa maturité. Si l'on veut acquérir des notions plus étendues et plus certaines sur son organisation, il faut l'étudier à une époque rapprochée de celle de la floraison.

L'embryon du *spinacia oleracea* n'entoure point originairement le périsperme, on le voit paraître comme une molécule blanchâtre dans l'endroit qu'occupe l'extrémité de la radicule dans la graine parvenue à sa maturité. Cet embryon possède un sac embryonaire tubuleux qui préexiste à son développement et qui est ployé en cercle autour du périsperme. L'embryon, contraint de se développer dans ce sac embryonaire annulaire, prend lui-même cette forme qu'il ne possédait point dans le principe. La figure 8, pl. 20, représente la coupe de la graine en question, pratiquée dans le sens de sa largeur, et de manière à diviser dans toute sa longueur le sac embryonaire annulaire de l'embryon. La figure 9 représente la coupe de cette même graine pratiquée dans le sens de son épaisseur, et de manière à diviser transversalement le sac embryonaire et l'embryon qu'il contient. Dans cette dernière figure, on voit en *a* l'induvie ouverte à son sommet pour livrer passage aux styles ; on voit en *b* le péricarpe membraneux au sommet duquel les styles sont insérés ; *d* est le périsperme ; *c* est la cavité du sac embryonaire. Cette enveloppe séminale n'est pas très-facile à apercevoir, parce qu'elle est intimement adhérente d'une part au périsperme, et de l'autre part au péricarpe. Ce n'est que dans l'endroit où le sac embryonaire se réfléchit du périsperme sur le péricarpe que l'on peut constater son existence indépendante. On voit de cette manière qu'il forme une cavité en forme de tube dont les parois sont parfaitement distinctes de la paroi externe du périsperme et de la paroi interne du péricarpe. Revenons actuellement à la figure 8, pl. 20, qui représente la coupe de la graine dans le sens de sa largeur. On y voit en *a* l'induvie ; en *b* le péricarpe membraneux et fort mince intimement confondu avec le sac embryonaire ; en *c* la paroi externe du périsperme intimement confondue avec le sac embryonaire ; en *g* l'embryon filiforme qui n'occupe encore qu'une partie de la cavité de son sac embryonaire annulaire ; en *d* le périsperme. Les vaisseaux qui arrivent du pédoncule pénètrent en partie dans le périsperme et en partie dans le sac embryonaire au point *f*, de sorte que ce point *f* est véritablement le point d'insertion du sac embryonaire, ou le hile, lequel se trouve ainsi situé à la base du périsperme ; ce dernier, par conséquent, est un placentaire parfaitement semblable par sa forme et par sa position au placentaire du *galium aparine*. Il suffit, en effet,

de jeter les yeux sur la figure 7, pl. 20, qui représente la coupe verticale de la graine du *galium aparine* et de comparer le placentaire *c* de cette graine avec le périsperme *d* (fig. 8) de la graine du *spinacia oleracea,* pour se convaincre de l'identité de ces deux organes. Leur forme et leur disposition sont les mêmes : tous les deux reçoivent l'insertion du sac embryonaire, et ce point d'insertion, qui est le hile, est situé exactement de la même manière dans ces deux graines, chez lesquelles le sac embryonaire est de même ployé circulairement autour de l'organe dont il s'agit. On ne peut donc se refuser à reconnaître l'analogie qui existe entre le placentaire du *galium aparine* et le périsperme du *spinacia oleracea.* C'est évidemment le même organe qui, chez les deux végétaux en question, diffère en cela seul, que chez le *galium aparine* il consiste dans un parenchyme de couleur verte, tandis que chez le *spinacia oleracea* il est composé d'un parenchyme farineux. Ainsi le périsperme du *spinacia oleracea* est véritablement un placentaire farineux. Chez le *galium aparine* le placentaire est simplement parenchymateux et le sac embryonaire épais forme le périsperme ; chez le *spinacia oleracea* le placentaire forme le périsperme et le sac embryonaire est simplement membraneux. A cela près, l'organisation de ces deux graines est exactement la même. Au reste, j'ai observé que chez le *spinacia oleracea,* comme chez le *galium aparine,* la radicule est inverse; sa pointe est dirigée vers le point du sac embryonaire diamétralement opposé à celui de son insertion qui est le hile; ce fait est en contradiction avec l'assertion émise par M. de Mirbel que chez les atriplicées la radicule est adverse.

§ VII. — *Observations sur la graine du* mirabilis jalappa (*famille des nyctaginées*).

La graine du *mirabilis jalappa* offre un embryon périphérique, c'est-à-dire qui enveloppe le périsperme auquel il est complétement extérieur. Cet embryon n'a point d'enveloppes séminales propres ; il est immédiatement recouvert par les parois de l'ovaire, lequel est renfermé dans une induvie formée par la base endurcie de la corolle. Voilà ce qu'on observe dans la graine mûre ou voisine de sa maturité ; mais si l'on remonte, par l'observation, aux premiers moments où l'embryon commence à se montrer, les choses ne sont plus les mêmes. On voit alors que l'embryon n'est point originairement périphérique, et qu'il possède dans le principe un sac embryonaire recouvert par un péricarpe très-facile à observer. Pour être témoin de ces faits, il faut prendre un ovule qui ait à peine deux millimètres de longueur. Cette observation, qui est fort délicate, doit être faite au moyen de la dissection dans l'eau et avec une forte loupe. L'ovaire du *mirabilis jalappa* ne remplit point dans l'origine toute la cavité que forme l'induvie *a* (fig. 10, pl. 20). Cet ovaire, extrêmement petit, est composé d'un péricarpe carcérulaire *b* qui porte le style et que l'on enlève avec facilité de dessus le sac embryonaire *d*, auquel il n'est point adhérent. Cette carcérule (Mirbel) présente, sur deux de ses côtés diamétralement opposés, une ligne qui s'étend de sa base à son sommet et qui semble la partager en deux. Cette division cependant n'existe point dans l'intérieur de la graine, mais la ligne dont il s'agit est l'indice de la direction d'un canal courbé dans lequel l'embryon est contenu dans le principe. Si donc on veut voir l'embryon, lors de sa première apparition, il faut fendre l'ovaire avec précaution selon la direction de la ligne que je viens d'indiquer ; de cette manière on met à découvert et l'embryon et le canal circulaire à la partie inférieure duquel il est logé. On voit que ce canal, tubuleux dans une portion de son étendue, offre une disposition à peu près semblable à celle que j'ai notée dans le sac embryonaire du *spinacia oleracea.* Il entoure de même le périsperme qui occupe le centre de la graine ; mais ici l'existence isolée du sac embryonaire est plus facile à constater,

parce que cette enveloppe n'est point, dans l'origine, confondue par adhérence avec le péricarpe, comme cela a lieu chez le *spinacia oleracea*, bien qu'elle soit, comme chez ce dernier, confondue par adhérence avec le périsperme. Chez le *mirabilis jalappa*, le sac embryonaire n'est disposé en forme de tube que dans sa partie qui s'étend depuis le point *g*, où naît l'embryon, jusqu'au sommet de l'ovule; dans le reste de son étendue il s'évase, et ses parois correspondent à la surface tout entière du périsperme. La figure 10 (planche 20) représente la coupe verticale de la graine du *mirabilis jalappa*, coupe pratiquée suivant la direction de la ligne qu'offre extérieurement la carcérule. On voit en *a* l'induvie; en *b* la carcérule que surmonte le style; en *c* le périsperme central; en *d* la cavité du sac embryonaire, lequel est confondu par adhérence intime avec le périsperme, mais qui est isolé de la carcérule qui le recouvre; l'embryon *g* naît dans la portion tubuleuse du sac embryonaire qui se prolonge un peu au-dessous de l'origine du périsperme. Il suffit de comparer cette figure à la figure 8 (pl. 20) pour se convaincre de l'analogie qui existe entre l'organisation de la graine du *mirabilis jalappa* et celle de la graine du *spinacia oleracea*; par conséquent, chez l'une comme chez l'autre, on doit reconnaître que le périsperme central n'est autre chose qu'un placentaire farineux. Dans la graine du *spinacia oleracea* l'embryon filiforme se développe dans l'intérieur de son sac embryonaire tubuleux et circulaire; dans la graine du *mirabilis jalappa*, l'embryon de forme allongée, tant qu'il est contenu dans la portion tubuleuse de son sac embryonaire, développe de larges cotylédons lorsqu'il atteint la portion élargie de ce même sac embryonaire. Ces cotylédons envahissent toute la périphérie du périsperme, ou plutôt du placentaire farineux, restant toujours sous-jacents à la paroi supérieure du sac embryonaire, et séparés indubitablement du placentaire farineux par la paroi inférieure de ce même sac embryonaire. Cette paroi inférieure ne jouit point, il est vrai, d'une existence isolée, elle est intimement adhérente au placentaire farineux dont on pourrait croire qu'elle est l'enveloppe propre. Ce n'est que dans sa portion tubuleuse que le sac embryonaire laisse voir avec facilité la continuité de sa paroi supérieure avec sa paroi inférieure; il suffit de l'apercevoir dans cet endroit pour conclure qu'elle existe dans le reste de son étendue et pour pouvoir affirmer, sans crainte d'erreur, que la membrane extrêmement délicate qui revêt extérieurement le placentaire farineux est la paroi ou la portion inférieure du sac embryonaire. Lorsque l'embryon est complétement développé dans l'intérieur de la graine, la portion tubuleuse du sac embryonaire, qui, dans le principe, contenait l'embryon tout entier, se trouve entièrement occupée par la radicule.

Ainsi il est prouvé par l'observation que le périsperme central de la graine des nyctaginées est un placentaire farineux semblable à celui de la graine des atriplicées et analogue au placentaire central mais non farineux de la graine des rubiacées. Il est également prouvé que l'embryon du *mirabilis jalappa* possède une enveloppe séminale propre, et qu'il n'est point immédiatement recouvert par les parois de l'ovaire, ainsi que l'a dit M. de Mirbel. Ce savant botaniste a prétendu de même que l'embryon de l'*avicennia* était dépourvu d'enveloppe séminale propre. M. Aug. de St-Hilaire, qui a été à même d'étudier le développement de l'embryon de l'*avicennia* dans l'ovaire, a vu que cet embryon possède, dans l'origine, un tégument propre qui est rompu de bonne heure par le développement des cotylédons [1]. Ces faits prouvent combien sont incomplètes les observations des carpologistes qui, comme Gærtner, se sont bornés à étudier les graines vers l'époque de leur maturité.

---

[1] Mémoires du Muséum d'Hist. nat, tome 4.

§ VIII. — *Observations sur la graine du* nymphea lutea (*famille des nymphéacées*).

Les ovules du *nymphea lutea* sont apercevables dans l'ovaire avant la floraison. Ce n'est que lorsqu'ils ont acquis un certain développement qu'il est possible de voir les parties dont ils sont composés.

L'ovule du *nymphea* (fig. 11, pl. 20) offre à l'extérieur une enveloppe lisse et fort dure *f*, dans les parois de laquelle il existe une râphe ou prolongement de funicule *g*, qui aboutit au sommet *d* de l'ovule. Au-dessous de cette enveloppe extérieure se trouve une seconde enveloppe membraniforme *c*, laquelle renferme à la fois l'embryon *a i* et le périsperme *b*. L'embryon paraît extérieur au périsperme. Ce dernier a la forme d'un sac aplati dont les parois intérieures *h* sont en contact. Sa cavité est ouverte du côté qui correspond à l'embryon. Cette disposition qui est entièrement semblable à celle qu'affecte dans le principe le sac embryonaire parenchymateux de l'*amygdalus*, ne permet pas de douter que le périsperme du *nymphea* ne soit de même un sac embryonaire faisant fonction de périsperme dont la partie supérieure a disparu, et dont la cavité entière n'a point été envahie par l'embryon. Ce dernier n'a point non plus absorbé, pour sa nutrition, toute la substance nutritive de ce sac embryonaire. Parvenu à la maturité, l'embryon du *nymphea* en est resté, à cet égard, au même degré où se trouve l'embryon de l'*amygdalus* dans le commencement de son développement. C'est ici l'un de ces cas où l'embryon paraît extérieur au périsperme, parce que ce dernier est la portion nutritive d'un sac embryonaire dont la portion membraniforme a disparu.

L'embryon du *nymphea lutea* possède une organisation ambiguë de laquelle il résulte qu'il a été considéré tantôt comme monocotylédon, tantôt comme dicotylédon. Il présente en dehors une sorte d'enveloppe d'une seule pièce *a* (fig. 11, pl. 20) qui renferme deux feuilles rudimentaires d'inégale grandeur *i*. M. de Candolle considère ces deux feuilles rudimentaires comme deux cotylédons. Selon lui l'organe *a* qui les recouvre est une *enveloppe propre*. Gærtner, au contraire, regarde cet organe comme un cotylédon unique. M. de Mirbel, dans l'exposition qu'il fait de l'organisation de la graine du *nymphea* [1] donne le nom d'*appendice radiculaire sacelliforme* à l'organe que Gærtner considère comme un cotylédon et M. de Candolle comme une *enveloppe propre*. Ce conflit d'opinions prouve que le fait en question a besoin de nouvelles observations pour être complétement éclairci. Cela m'a engagé à étudier, avec beaucoup de soin, l'embryon du *nymphea*. J'ai vu que l'organe *a* (fig. 11) est lié organiquement avec le collet de la plantule qu'il recouvre. Cet organe n'est donc point une enveloppe séminale, comme le pense M. de Candolle. C'est un véritable *cotylédon piléolaire*. Le nom d'*appendice radiculaire sacelliforme* que lui donne M. de Mirbel, d'après la théorie de MM. Correa de Serra et Richard, ne peut lui convenir; car cet organe n'a rien de commun avec la radicule. Ce cotylédon *piléolaire* est déchiré, lors de la germination, par le développement de la plumule. Ces observations semblent devoir fixer dans la classe des monocotylédons le *nymphea* que l'organisation de sa tige rapproche d'ailleurs de cette classe. Cependant je ferai observer que chez certains végétaux dicotylédons, l'embryon a la même organisation que celui du *nymphea*. Ainsi M. Dupetit-Thouars [2] a vu que l'embryon du *rhyzophora mangle* possède un corps cotylédonaire semblable un bonnet phrygien dans lequel la plumule est complétement renfermée. On pourrait croire que cette disposition provient de ce que les cotylédons isolés dans le principe se seraient entre-greffés, comme cela a lieu,

(1) Élémens de physiologie végétale et botanique.

(1) Journal de Botanique, tome II, page 27.

par exemple, chez l'embryon du *tropæolum majus*; mais il est à observer que, chez ce dernier, les cotylédons, en se soudant par leurs faces contiguës, ne forment point par leur réunion une piléole dans laquelle la plumule soit renfermée, comme elle l'est dans le corps cotylédonaire du *rhyzophora mangle*. Il me paraît donc indubitable que l'embryon de ce végétal possède un cotylédon piléolaire, comme l'embryon du *nymphea lutea* et même comme celui du *pisum sativum*. En effet, on a vu plus haut que les deux cotylédons de l'embryon du *pisum sativum* naissent de la scissure en deux parties d'une calotte ou piléole dans laquelle la plumule se trouve contenue. Ces faits prouvent que les cotylédons sont, dans le principe, des piléoles qui sont divisées par une seule scissure latérale chez les monocotylédons, d'où résulte une feuille cotylédonaire unique, et qui, chez les dicotylédons, sont partagées en deux feuilles cotylédonaires.

§ X. — *Observations sur la graine du seigle*, secale cereale (*famille des graminées*).

L. C. Richard et M. de Candolle donnent au fruit des graminées le nom de *cariopse*; M. de Mirbel lui donne celui de *cérion*. Tous regardent comme un des caractères de ce fruit de posséder un péricarpe fortement adhérent aux téguments propres de la graine. Les observations qui vont être exposées infirment cette assertion; elles feront voir que la graine des graminées est renfermée dans un péricarpe qui disparaît de bonne heure, et que l'enveloppe indéhiscente qui recouvre immédiatement cette graine lors de sa maturité, et qui est ordinairement colorée, n'est point un péricarpe, comme on le pense généralement, mais bien une enveloppe séminale propre.

L'ovaire du seigle, cinq jours après la floraison, offre à l'observation un péricarpe composé d'un parenchyme blanc et surmonté par les deux styles. Dans son intérieur on aperçoit déjà l'ovule. La fig. 1, pl. 21, représente la coupe verticale de cet ovaire, pratiquée dans le sens du sillon longitudinal qu'il possède: *a* péricarpe parenchymateux portant les styles dont on ne voit ici qu'un seul; *b* ovule dont l'enveloppe est de couleur verte; *c* repli longitudinal de cette enveloppe verte; *d* cavité située au centre de l'ovule.

Dix jours après la floraison, on commence à apercevoir le périsperme, qui offre une cavité dans son centre. La figure 2 représente la coupe longitudinale de l'ovaire à cette époque: *a* péricarpe parenchymateux; *b* enveloppe extérieure de l'ovule ou primine, laquelle est de couleur verte et qui deviendra plus tard jaunâtre; *c* repli longitudinal de cette enveloppe, repli qui forme le sillon de la graine; au-dessous de cette enveloppe verte qui occupe l'extérieur de l'ovule se trouve une seconde enveloppe mince et diaphane, c'est la secondine dont le développement en épaisseur ou l'accroissement centripète formera le périsperme *f*; l'accroissement de ce périsperme farineux a été étudié d'une manière spéciale par M. Raspail. Cette *secondine périsperme* est composée de cellules dans l'intérieur desquelles sont logés les grains de fécule; dans son centre existe, dans le principe, une cavité *d* remplie de liquide. Vers le 20e jour après la floraison, le péricarpe parenchymateux se trouve réduit à ne plus être qu'une enveloppe membraniforme transparente et d'une extrême ténuité; alors la cavité intérieure de la secondine développée en périsperme a complétement disparu, elle s'est comblée par le développement du tissu cellulaire féculent qui constitue le périsperme à peu près de la même manière que cela a lieu dans l'ovule du fusain, ainsi que cela a été exposé plus haut. On voit, comme chez le fusain l'embryon *g* apparaître à la partie la plus inférieure de la cavité du périsperme, mais dans l'ovule du seigle il ne s'accroît point de manière à envahir toute cette cavité du périsperme, comme cela a lieu chez le fusain; il demeure constamment dans la position où se trouve l'embryon *a* (fig. 11, pl. 19) du fusain lors de son apparition, c'est-à-dire

à la base de la cavité de la *secondine périsperme*.

Ainsi l'embryon du seigle *g* (fig. 2, pl. 21) apparaît et demeure à la partie inférieure du périsperme *f*. J'avais considéré, dans mes premières recherches, la petite cavité qui loge l'embryon dans l'intérieur du périsperme comme un petit sac embryonaire distinct du périsperme luimême que je considérais comme une hypostate; mais aujourd'hui, éclairé par de nouvelles observations, je dois reconnaître que la cavité dans laquelle est logé l'embryon n'est qu'une petite portion de la cavité centrale, que la *secondine périsperme* possède dans le principe. Cette cavité est remplie par le développement du tissu cellulaire féculent qui l'oblitère rapidement. Ainsi l'ovule du seigle ne possède d'une manière visible que deux enveloppes séminales, savoir: une enveloppe extérieure colorée qui est la primine, et une enveloppe intérieure incolore qui est la secondine; le périsperme est un développement intérieur de cette dernière, ce n'est point une matière sécrétée. La primine et la secondine se soudent de bonne heure et ne forment plus qu'une seule enveloppe, laquelle forme ce qu'on nomme vulgairement *le son*. Le péricarpe parenchymateux qui recouvre l'ovule du seigle dans le principe étant devenu membraniforme s'exfolie et disparaît lors de la maturité; il reste actuellement à suivre l'embryon dans les diverses phases de son développement.

L'embryon du seigle commence à paraître vers le treizième jour après la floraison. A cette époque il est pyriforme, comme on le voit dans la figure 3, pl. 21; vers le quinzième jour l'embryon se présente sous la forme représentée par la figure 4; il n'est plus exactement pyriforme. Un de ses côté *b* est plus bombé que le côté opposé sur lequel on remarque une fente longitudinale *a*; il est adhérent à la secondine par sa pointe *d* qui n'est point la radicule, comme on pourrait le penser au premier abord. Les jours suivants l'ouverture *a* donne issue à la plumule qui se trouvait renfermée complétement dans l'intérieur du corps *b*, lequel est une véritable piléole qui, par sa scissure latérale et son développement, devient une véritable feuille cotylédonaire engainante, comme on le voit dans la figure 5: *a* plumule; *b* feuille cotylédonaire vue obliquement par derrière; elle se termine inférieurement par une protubérance arrondie *o*. On voit alors que la pointe *d* par laquelle l'embryon est adhérent à la secondine n'est point celle de la radicule. Comme le corps conique qu'elle termine est transparent, on voit dans son intérieur une cloison transversale *g*. Ce corps conique transparent fait suite à la radicule qui est opaque et dont la pointe fort obtuse se voit en *c*. Ainsi l'embryon se trouve organiquement uni avec la secondine au moyen d'un corps qui paraît continu avec la radicule. Cet état de l'embryon peut s'observer du vingtième au trentième jour après la floraison. Vers le quarantième jour la forme de l'embryon est telle qu'elle est représentée par la figure 6. La feuille cotylédonaire est devenue scutelliforme par le développement particulier de la protubérance arrondie *o* (fig. 5) qu'elle possédait à sa base: *a* plumule; *b* cotylédon pourvu sur sa face intérieure d'un repli saillant *f*; *c* radicule; *d* corps conique paraissant continu avec la radicule. La figure 7 représente ce même embryon vu latéralement.

Vers le quarante-cinquième jour après la floraison, le scutelle a pris un développement plus considérable par sa base qui se termine en pointe *o* (fig. 8). On commence dans le même temps à apercevoir à la base et à la partie antérieure de la plumule *a*, un petit corps oblong et arrondi *b*. Ce corps est considéré par MM. Poiteau et Turpin [1] comme un second cotylédon. Je penche assez vers cette opinion. On peut considérer ce second cotylédon comme la seconde feuille de l'embryon qui serait avortée et à l'état rudimentaire. La feuille piléolaire qui

[1] Mémoire sur l'inflorescence des graminées.

recouvre la gemmule serait la troisième feuille, ce qui expliquerait pourquoi elle elle est tournée du même côté que le cotylédon scutelliforme. A l'époque dont il s'agit, le corps conique *d* qui fait suite à la radicule *c* est devenu extrêmement petit; on ne voit plus l'adhérence de sa pointe à la secondine.

Vers le cinquante-cinquième jour après la floraison, la graine du seigle se trouve voisine de sa maturité. Alors le corps conique qui faisait suite à la radicule a disparu et l'embryon a la forme représentée par la figure 9 : *a* plumule; *d* cotylédon scutelliforme; *b* second cotylédon; *c* radicule masquée par sa coléorhize qu'elle ne percera qu'à l'époque de la germination.

Le corps conique *d* (fig. 6), qui fait suite à la radicule et dont la pointe est liée organiquement avec la secondine, est composé de deux articles, lesquels me paraissent devoir être considérés comme deux hypostates analogues à celles qui sont placées à la suite de l'embryon du *pisum sativum* (fig. 5, pl. 20). Chez ce dernier les hypostates sont organiquement liées avec le sac embryonaire rudimentaire, à l'aide duquel l'embryon est suspendu au cordon funiculaire dont les hypostates sont la terminaison. Il doit en être de même de l'embryon du seigle; puisque cet embryon est attaché à l'ovule par l'intermédiaire de deux hypostates, comme cela a lieu pour l'embryon séminal du *pisum sativum* il doit posséder, comme lui, un sac embryonaire qui seul sera continu avec les hypostates et, par conséquent, avec l'ovule. Cette disposition organique est très-facile à voir dans l'ovule de l'*amygdalus communis* (fig. 7, 8, 9, pl. 19). Elle est difficile à apercevoir dans l'ovule du *pisum sativum* (fig. 2, 3, pl. 20). On ne la voit point dans l'ovule du seigle, mais chez le dernier la similitude de la position des hypostates *d g* (fig. 5, 6, 7, pl. 21), par rapport à l'embryon, ne permet pas de douter que ce dernier ne possède, comme les deux premiers, un sac embryonaire qui seul est lié organiquement avec l'ovule par l'intermédiaire des hypostates. Ainsi je reviens à l'opinion que j'ai émise en 1817 [1] que l'embryon végétal est originairement isolé et libre de toute adhérence avec l'ovule. L'observation que je viens d'exposer touchant les rapports de l'embryon du seigle avec l'ovule m'avait fait changer d'opinion en 1820 [2]; des réflexions plus approfondies me ramènent aujourd'hui à ma première manière de voir, en m'apprenant que l'observation dont l'embryon du seigle vient d'être l'objet ne prouve véritablement point la continuité organique de l'embryon séminal avec l'ovule. D'ailleurs l'observation m'a prouvé que les *embryons gemmaires* sont, dans l'origine, libres d'adhérence avec le végétal générateur. (Voyez dans le v[e] mémoire, page 130). Il doit donc en être de même des *embryons séminaux*. Ces derniers, au reste, ne sont, à ce qu'il paraît, que des *embryons gemmaires* nés à l'extrémité du dernier article ou du dernier *mérithalle* du funicule, qui est véritablement l'extrémité de la tige reployée sur elle-même dans l'ovule. Les hypostates ne sont que les derniers mérithalles de cette tige funiculaire; le *sac embryonaire* de l'embryon séminal est l'analogue de la *famille embryonaire* de l'embryon gemmaire (voyez dans le III[e] mémoire, page 100). Les embryons gemmaires primitivement libres d'adhérence avec le végétal générateur se soudent de bonne heure avec lui, et forment ainsi les mérithalles successifs; les embryons séminaux doivent à leur position dans un ovule et à l'avortement de la tige qu'ils terminent de conserver leur isolement originel. Quant à la production des embryons ou *gemmaires* ou *séminaux*, elle se cache dans l'infiniment petit, ce qui fait que son mécanisme ne sera probablement jamais dévoilé. Il en est à cet égard de même par rapport à l'origine mystérieuse des cellules et des autres organes élémentaires des végétaux.

---

[1] Journal de physique, tome 90, page 407.

[2] Annales du Muséum d'histoire naturelle, tome VIII, page 283.

Il résulte des observations qui viennent d'être exposées : 1° que la graine des graminées est l'ovule lui-même développé et dépouillé de son péricarpe, et que par conséquent cette graine n'est point un fruit auquel on puisse donner les noms de *cariospe* ou de *cérion* d'après le sens attaché à ces dénominations par leurs auteurs.

2° Que le scutelle de l'embryon des graminées est, comme l'a dit M. de Jussieu, un véritable cotylédon et qu'il n'est point par conséquent un *corps radiculaire*, comme l'a pensé L.-C. Richard, ni un organe particulier aux graminées, ainsi que l'a prétendu H. Cassini [1] qui regarde le scutelle comme un gonflement de la tige, et qui a cru devoir en conséquence lui donner le nom de *carnode*.

3° Que le périsperme de la graine des graminées est une secondine accrue en épaisseur et devenue féculente. L'embryon ne paraît extérieur à cette secondine périsperme, que parce que les parois de cette secondine ne se sont point développées et ont disparu à l'un des côtés de l'embryon, lequel ne s'est point accru de manière à se placer au centre de cette *secondine périsperme*, ainsi que cela a lieu, par exemple, dans la graine du fusain (figure 11, planche 19). Dans l'ovule naissant de ce dernier végétal, l'embryon est placé comme celui des graminées; il paraît extérieur au périsperme.

En me livrant à l'étude de la graine du seigle, j'ai dû jeter un coup d'œil sur une production de la même plante, production qui porte le nom d'*ergot* et qui est connue par les effets délétères qu'elle produit sur l'homme. Les naturalistes sont divisés d'opinion sur la nature de cette production qui, suivant l'opinion la plus générale, serait due à un développement morbifique de la graine : cependant M. de Candolle a prétendu que cette production est un champignon du genre *sclerotium*, et il lui a donné le nom de *sclerotium clavus*. L'observation m'a prouvé que l'opinion de M. de Candolle ne peut être admise.

L'ergot représenté de grandeur naturelle dans la fig. 10 (pl. 21) est composé de deux parties différentes par leur nature. Le corps de l'ergot *b* est dur, de couleur violacée à l'extérieur; il offre à l'intérieur une substance blanchâtre d'apparence farineuse; il adhère à la plante par la partie inférieure *c*; son sommet est surmonté par une production molle et jaunâtre *a* dont l'odeur est fétide, et qui en se desséchant se détache spontanément du corps de l'ergot. Si je me fusse borné à l'étude de l'ergot parvenu à sa maturité, jaurais été porté, je l'avoue, à prendre cette partie *a* pour une sorte de champignon. Je ne suis parvenu à des notions certaines sur sa nature, ainsi que sur celle du corps *b* de l'ergot, qu'en observant cette production avant que son développement l'ait fait sortir de l'intérieur des balles florales. C'est de cette manière que j'ai vu que le corps *b* de l'ergot est véritablement la graine elle-même soumise à un développement morbifique, et que la partie *a* qui recouvre le sommet du corps de l'ergot, est engendrée par le développement morbifique de la partie *a* (fig. 1 et 2, pl. 21) du péricarpe parenchymateux qui enveloppe l'ovule dans le principe. Aussi trouve-t-on ordinairement les deux styles implantés au sommet de la partie *a* de l'ergot, lorsqu'il est encore renfermé dans l'intérieur des balles florales. A cette époque, l'ergot possède encore la forme propre à la graine du seigle, il la perd plus tard et ne conserve même le plus souvent aucune trace du sillon longitudinal propre à la graine, et qu'il offrait dans le principe. Au reste il serait possible que le *développement morbifique* qui constitue l'ergot fût le résultat de l'existence et de la multiplication dans la graine du seigle d'un champignon microscopique et globuleux analogue à une *uredo ;* cela me paraît même assez probable; je me borne donc à tirer de mes observations cette conclusion que l'ergot considéré dans son entier n'est point *un individu* d'une espèce de champignon;

[1] Journal de physique, novembre 1820.

mais je conviens qu'il est probable que ce même ergot est le résultat de la réunion d'une multitude de champignons globuleux et microscopiques, ainsi que cela a lieu pour l'*uredo caries* qui remplit souvent tout l'intérieur de la graine du froment. A propos de l'*uredo caries* du froment, je placerai ici l'observation que j'ai faite sur le siége de son développement dans la graine. Cette uredo, qui paraît remplacer le périsperme, ne se développe point cependant dans la substance de ce dernier. Elle naît entre les deux enveloppes de l'ovule, c'est-à-dire, entre la *primine* et la *secondine périsperme*. Par la multiplication de ses globules, l'uredo refoule cette *secondine périsperme* vers le centre de l'ovule et l'atrophie en s'appropriant toute la substance nutritive qu'elle contient; en sorte que bientôt elle a complétement disparu. L'uredo se trouve alors occuper à elle seule toute la cavité de l'ovule qui ne possède plus en dehors que la seule primine.

XV.

OBSERVATIONS

SUR

LES TRANSFORMATIONS VÉGÉTALES.

La constance que nous observons dans la forme de chaque espèce d'être organisé tient à la permanence d'une cause inconnue. Cette cause à laquelle est due la forme organique offre des aberrations accidentelles qui se manifestent par le phénomène de la *transformation*, ou du changement de forme. Ce phénomène est très-commun dans le règne végétal, et il mérite toute l'attention de l'observateur philosophe ; son étude peut conduire à la connaissance de quelques lois fondamentales de l'organisation, car les lois qui président à la *forme* président par cela même à la *formation*.

Des observations sur les transformations végétales ont été recueillies par un grand nombre d'observateurs. Je présente ici quelques faits nouveaux sur cet objet. Ce sont des matériaux que je réunis à ceux qui ont été rassemblés par les observateurs qui m'ont précédé, et qui pourront servir à ceux qui tenteront d'approfondir cette partie importante de la science physiologique des végétaux.

La transformation végétale la plus généralement et la plus anciennement observée est celle des étamines en pétales dans les *fleurs doubles*. Les hommes se sont attachés à faire naître ces transformations pour le plaisir des yeux et non dans l'intérêt de la science, mais cette dernière s'est emparée de ce phénomène et elle a cherché à le suivre dans toutes ses modifications. Ainsi A. Dupetit-Thouars a observé la transformation très-curieuse des étamines en pistil dans le pavot oriental ; le filament de l'étamine, par sa dilatation, était devenu l'ovaire, et le stigmate était probablement engendré par une transformation de l'anthère.

On doit à M. Henri Cassini de nombreuses observations sur les transformations des parties de la fleur, spécialement chez les synanthérées. Ces transformations sont généralement les mêmes que quelques-unes de celles qui viennent d'être notées. mais il a observé de plus que l'ovaire et le style étaient transformés en tiges dans des fleurs monstrueuses du *cirsium tricephalodes* et du *cirsium pyrenaicum*, et il en a conclu que chez les synanthérées l'ovaire et le style sont des organes analogues à la tige, ou que ces organes sont des tronçons de tige dans l'intérieur desquels un germe se forme et se développe [1]. J'ai eu occasion d'observer une rose monstrueuse, dans laquelle l'ovaire était de même trans-

[1] Bulletin des Sciences, Soc. phil., 1819-1822.

formé en tige. Mais telle n'est point toujours la nature de l'ovaire, car il arrive souvent que, chez d'autres plantes, on le trouve métamorphosé en feuilles, en sorte qu'on en peut conclure qu'alors il est formé de feuilles entre-greffées. C'est ce que Dupetit-Thouars a observé dans les fleurs monstrueuses du *verbascum pyramidatum* et du *brassica napus* (1). Avant Dupetit-Thouars j'avais fait la même remarque sur une fleur monstrueuse du *tropæolum majus*, et je consignai ce fait dans une note communiquée à la Société philomatique en 1817, et publiée en 1820 dans le Bulletin des sciences de cette Société. Dans la fleur monstrueuse qui fait le sujet de cette observation, les folioles du calice, ordinairement colorées comme la fleur, étaient vertes sans changement de forme; l'éperon du calice était très-court et vert. Les deux pétales supérieurs de la corolle étaient de couleur verte, mais sans changement de forme; les trois pétales inférieurs étaient tout à fait changés en feuilles. Les étamines et le style étaient dans l'état naturel. L'ovaire qui, comme on sait, offre trois loges correspondantes aux trois semences était changé en trois feuilles dont les pétioles étaient juxtaposés et collés ensemble. Ces feuilles, soudées les unes aux autres par leurs bords, formaient par leur réunion une poche trilobée. Le style traversait le centre de cette poche et aboutissait inférieurement à une autre poche plus petite contenue dans la précédente, également formée par la réunion de trois feuilles fort petites, et remplie d'une matière muqueuse verdâtre. Il me fut aisé de reconnaître dans la première de ces poches foliacées une transformation du péricarpe trilobé, et dans la seconde une transformation des trois ovules contenus dans les trois loges du péricarpe.

Cette observation montre le péricarpe formé par une réunion de feuilles entregreffées, et elle apprend de plus ce fait que les enveloppes de l'embryon végétal ne lui appartiennent point en propre, mais qu'elles sont des dépendances de l'ovaire, ou pour mieux dire des dépendances du végétal générateur.

Ainsi, les ovaires des végétaux sont formés tantôt par des tiges développées d'une manière particulière, tantôt par des feuilles transformées et entre-greffées. Les écailles des cônes des conifères sont des feuilles transformées. Cette opinion émise par M. de Mirbel a été combattue par M. Poiteau (2) qui prétend que ce sont les bractées situées sous les écailles qui sont des feuilles plus ou moins altérées. L'observation m'a prouvé que l'assertion de M. de Mirbel est très-fondée, car j'ai trouvé des cônes de *pinus maritima*, dont toutes les écailles étaient transformées en feuilles dont la base était très-élargie. C'était cette base élargie et épaisse de la feuille qui formait seule la véritable écaille; la feuille linéaire sortait de sa pointe. Cette observation infirme une partie de l'assertion de M. Poiteau, ce qui n'empêche pas que son assertion, relativement aux bractées, ne puisse être et ne soit effectivement très-fondée.

On pourrait conclure de ces observations que le bourgeon à fruit n'est autre chose qu'un bourgeon à feuilles qui, au lieu de se développer au dehors et de fournir une branche chargée de feuilles, s'est développé à l'intérieur et a changé ses feuilles en calice, en corolle, en étamines, en style, en ovaire et en ovule. Cette conclusion, qui paraît très-fondée au premier coup d'œil, et que j'avais d'abord adoptée, me paraît cependant devoir être modifiée. En effet, il n'y a pas plus de raison pour dire qu'un pétale ou une étamine est une feuille transformée qu'il n'y en aurait pour dire qu'une feuille est un pétale ou une étamine changée de forme. On ne peut déduire de ces observations qu'un seul fait incontestable, c'est celui de la similitude originelle d'un élément organique dont le développement particulier forme, selon les circonstances, une feuille, un pétale, une étamine, etc. Cet élément organique est le *segment de tige* auquel les

(1) Bulletin des Sciences, Soc. phil., 1819.

(2) Bulletin des Sciences, Soc. phil., 1810.

feuilles doivent leur origine, ainsi que je l'ai démontré (page 108). C'est ce segment de tige qui, par les diverses modifications qu'il est susceptible de subir, forme les feuilles, les pétales, les étamines, les styles, certains ovaires ou péricarpes, et les enveloppes de l'embryon. L'existence des feuilles précédant toujours celle des autres parties que je viens d'énumérer, on a dû regarder la forme de ces organes comme la forme originelle dont les autres organes offraient des transformations. Mais en remontant à la connaissance de l'élément organique qui donne naissance à la feuille elle-même, on apprend que c'est cet élément organique seul qui, par ses transformations, produit à la fois les feuilles et les autres organes qui paraissent en dériver.

Les feuilles se distinguent des pétales plus spécialement par leur disposition que par leur couleur; car il y a des fleurs dont les pétales ont une couleur verte ou verdâtre comme des feuilles; et d'un autre côté, il y a des végétaux dont les feuilles ne sont point vertes, tel est, par exemple, le *chenopodium rubrum*. Cependant le plus généralement, les feuilles sont vertes et les pétales ont une autre coloration, en sorte que la couleur devient un moyen de les distinguer. Or, il peut arriver que des organes ayant la forme et la couleur des pétales, affectent le mode de disposition des feuilles. C'est ce qu'on observe effectivement dans une variété monstrueuse du lis blanc (*lilium candidum*). Les tiges du lis, dans l'état normal, se terminent par plusieurs fleurs, c'est là le terme de leur développement. Or, chez la variété monstrueuse du lis dont je viens de parler, les tiges, au lieu de se terminer par des fleurs, continuent à s'accroître en longueur en produisant des pétales au lieu de feuilles, et cela d'une manière indéfinie. Ces pétales d'un blanc éclatant sont disposés sur la tige d'une manière *éparse*, exactement comme le sont les feuilles normales de cette plante; le bourgeon qui termine ces tiges ne contient que des rudiments de ces feuilles pétaliformes, il ne contient point de rudiments de fleurs véritables. En considérant spécialement la couleur de ces feuilles pétaliformes, on serait porté à dire que ce sont des pétales changés en feuilles; en considérant spécialement leur disposition sur la tige et leur nombre considérable, on serait porté à décider que ce sont des feuilles changées en pétales. Le fait est que ces deux manières de voir seraient également inexactes. La philosophie de la science veut que l'on voie ici des *segments de tige* qui se sont développés avec la forme et la couleur des pétales et avec la disposition des feuilles.

Les formes organiques des végétaux, comme celles des animaux, se rattachent à deux types principaux, savoir : la forme *symétrique binaire* et la forme *symétrique circulaire*. Dans la première, des parties similaires sont semblablement placées de chaque côté d'un axe commun; dans la seconde, des parties similaires sont semblablement placées autour d'un centre commun. La transition de l'une de ces formes à l'autre s'observe assez souvent dans le règne végétal. En voici quelques exemples : Toutes les feuilles offrent dans leur limbe la *symétrie binaire ;* cependant, quelques-unes d'entre elles ont une forme qui s'approche beaucoup de la symétrie circulaire; ce sont les feuilles que l'on nomme *peltées ;* telles sont les feuilles de la capucine (*tropæolum majus*), celles de l'*hydrocotile vulgaris*, etc. Le limbe de ces feuilles offrirait une symétrie circulaire parfaite, si les nervures concentriques de ce limbe étaient toutes égales en longueur, mais ces nervures sont plus développées d'un côté que de l'autre du limbe, et cela fait que ce limbe est imparfaitement circulaire et que celle de ses nervures qui est la plus développée fait, mais imparfaitement, l'office d'axe pour la forme binaire. J'ai fait voir dans le m^e mémoire que, chez l'*hydrocotile vulgaris* (pl. 4, fig. 8, 9 et 10), la feuille est véritablement symétrique binaire dans l'origine, et que c'est par le mode de développement de son limbe que celui-ci tend postérieurement à prendre la forme circulaire. Il paraîtrait par là que la forme *binaire* serait la forme originelle ou la plus simple, et

que la forme circulaire n'existerait que secondairement, et serait par conséquent moins simple, comme l'indique le nombre le plus grand des éléments qui la composent.

Toutes les fleurs sont symétriques; les unes ont la symétrie circulaire, les autres offrent la symétrie binaire. Ces dernières sont, fort mal à propos, appelées *fleurs irrégulières* par les botanistes; il y a beaucoup de fleurs chez lesquelles la symétrie binaire et la symétrie circulaire existent à la fois et dans une sorte de fusion. Ainsi, chez les crucifères, la symétrie circulaire existe dans la disposition des pétales, et la symétrie binaire se trouve dans la disposition des étamines et de l'ovaire.

Les fleurs dont la forme normale est la symétrie binaire offrent quelquefois le changement de cette forme, en symétrie circulaire; on a donné à cette transformation le nom de *pélorie,* qui signifie *régularisation,* ce qui suppose improprement que la fleur n'était point *régulière* avant cette transformation. Ce phénomène s'observe, par exemple, chez le *teucrium campanulatum.* Toutes les fleurs axillaires de cette plante ont la symétrie binaire que possèdent les fleurs des labiées, mais la fleur qui termine la tige est *campanulée;* elle possède la symétrie circulaire. Henri Cassini [1] attribue ce phénomène à ce que la fleur terminale n'éprouve aucun obstacle à son développement, tandis que les fleurs axillaires éprouvent de la gêne dans le premier âge de la préfloraison, à cause de leur position latérale. Cette position gênée de la fleur encore à l'état de germe occasionne, selon H. Cassini, l'avortement d'une ou de plusieurs étamines et par suite l'*irrégularité* du périanthe. Ainsi, la forme symétrique binaire serait chez les fleurs une *monstruosité constante,* et la *pélorie,* loin d'être une monstruosité, serait un retour accidentel à l'état naturel et primitif. H. Cassini appuie cette assertion sur des observations de déformations du périanthe chez les synanthérées par suite de l'avortement des étamines. Les vues de H. Cassini, à cet égard sont aussi ingénieuses qu'elles sont philosophiques. Il est impossible de ne pas reconnaître dans la pélorie l'état primitif et véritablement naturel des fleurs ordinairement appelées *irrégulières,* fleurs dont la forme n'est *binaire* que par l'avortement constant de quelques-unes de leurs parties. Ce sont des déformations régulières d'un plan primitif qui était régulier d'une autre façon. Ainsi la corolle labiée est la déformation d'une corolle monopétale campanulée. Il serait curieux de déterminer quels sont les plans primitifs de toutes les autres fleurs *irrégulières* ou *binaires.* On y parviendra par l'observation des pélories accidentelles de ces fleurs; j'ai eu occasion d'observer celle de la fleur papilionacée [2]. Les fleurs du cytise des Alpes (*cytisus laburnum*) sont disposées en grappe et ces fleurs sont toutes *latérales* sur l'axe de la grappe, dont la fleur véritablement *terminale* avorte constamment et n'apparaît jamais dans l'état normal. Or, j'ai observé le développement tardif et accidentel de cette fleur terminale sur une grappe défleurie depuis plus de trois semaines, et cette fleur terminale était péloriée (fig. 3, pl. 19); son calice, au lieu d'être irrégulier, comme il l'est ordinairement, était régulier et à quatre divisions; la corolle offrait six pétales, savoir : quatre disposés crucialement *a, c, d, e,* et deux autres *b, b* qui, placés au-dessus, correspondaient aux deux intervalles que laissaient entre eux trois des quatre pétales ci-dessus avec lesquels ils alternaient. La manière dont ces deux pétales étaient placés attestait l'avortement de deux autres pétales semblables dont on voyait les places vides en *o o.* Ainsi la corolle, si elle eût été complète, aurait possédé huit pétales disposés sur deux rangées circulaires alternes. Ces pétales étaient portés sur des onglets assez longs. Des quatre pétales de la rangée cruciale inférieure l'un, *a,* aurait été

[1] Bulletin des Sciences, Soc. phil., 1817.

[2] Cette observation, a été communiquée à l'Académie des Sciences au de mois de juin 1831; elle était demeurée inédite.

le pavillon, si la corolle avait été papilionacée, ses deux voisins *c*, *e* auraient été *les ailes* de cette même corolle. Le pétale *d* diamétralement opposé à celui qui aurait été *le pavillon*, était tout à fait étranger à une corolle papilionacée ; c'était un pétale nouveau. Les deux pétales *b b*, situés au-dessus de ceux que je viens de mentionner, correspondaient aux deux pièces de la *carène* de la fleur papilionacée. Cela était indiqué de la manière la plus claire par la disposition du style et des étamines qui étaient dans leur état naturel. Il résulte de là que la fleur papilionacée est la déformation d'une fleur qui possède originairement huit pétales, disposés sur deux rangées circulaires alternes. Trois de ces pétales avortent constamment et les cinq restants forment le pavillon, les deux ailes et les deux pièces de la carène de la fleur papilionacée.

Les phénomènes qu'offrent les transformations végétales prouvent, que la constance de la forme que l'on observe chez les êtres organisés tient à des causes qui ne sont point immuables, bien que leur action ne varie point dans le plus grand nombre des circonstances. Lorsque ces causes conservatrices de la forme viennent à éprouver des modifications, la forme des êtres organisés subit des changements. Ainsi la forme actuelle d'un végétal peut devenir tout autre par la simple permanence de la cause accidentelle qui opère la variation de cette forme. C'est ainsi que M. Gaudichaud a vu, dans les îles de Sandwich, le *metrosideros polymorpha*, offrir au bord de la mer des feuilles cordiformes ; en s'élevant plus haut sur le penchant des montagnes, il a vu la même plante offrir successivement des feuilles elliptiques, puis ovales, ensuite lancéolées, et enfin des feuilles linéaires : ainsi suivant la température, ou la pression atmosphérique à laquelle elle était soumise, la même plante offrait une telle transformation de ses feuilles que l'observateur eût pu les prendre pour des espèces différentes s'il n'eût suivi la transition insensible qui liait les unes aux autres ces différentes variétés, et les rassemblait ainsi en une seule espèce végétale. Toutes ces observations prouvent que, par l'effet de certaines causes physiques, le monde organique végétal a pu éprouver de grands changements, et peut par conséquent en éprouver encore. Nous voyons en effet tous les jours des modifications de forme accidentellement obtenues se perpétuer par la génération ; c'est ce que l'on voit dans la reproduction par graines de plusieurs variétés de végétaux dans nos jardins. Cette permanence d'une forme accidentellement obtenue, prouve que la cause organique à laquelle elle est due est devenue permanente.

XVI.

OBSERVATIONS

SUR

LES CHAMPIGNONS [1].

PREMIÈRE PARTIE.

L'histoire physiologique des champignons est un des points les plus obscurs de la physiologie végétale. Presque tout est problématique chez ces plantes, si différentes des végétaux verts par leurs formes, et qui n'ont point besoin comme eux de l'influence de la lumière pour vivre et pour se développer. La plupart des champignons se distinguent encore des végétaux verts par l'extrême rapidité de leur développement et par leur peu de durée. Ce phénomène cesse de surprendre lorsqu'on découvre que les champignons qui présentent ce développement rapide et cette durée éphémère, ne sont que les organes de la fructification d'une plante filamenteuse et ramifiée, le plus souvent cachée sous la terre ou dans les interstices des corps végétaux pourris.

Vaillant [2] a le premier donné la description et la figure de ce champignon filamenteux, qu'il a nommé *corallofungus argenteus omentiformis*. Cette production fongueuse croît souvent sur les planches ou sur les pièces de bois humides qui sont placées dans les caves; quelquefois on la voit se développer sur les murailles humides, et même sur le sol des caves lorsqu'il est uni. Cette plante offre des rameaux blancs, qui partent d'un centre commun, et qui, divergeant dans tous les sens, se rencontrent fréquemment, et s'anastomosent en se greffant par approche, en sorte qu'il résulte de leur ensemble un corps réticulé fort semblable à la charpente fibreuse d'une feuille. Vaillant prétend que cette végétation commence par apparaître sous la forme d'un peloton d'une moisissure arrondie, gros comme une châtaigne. *Il semble*, dit-il, *que ce peloton renferme toute la matière qui doit former tout le reste de la plante, car on voit tout autour une couche de ses fibres rangées en rayons s'allonger insensiblement comme une laine que l'on file*. Il n'est pas besoin, je pense, de s'arrêter à faire sentir ce qu'il y a d'inexact dans cette manière de considérer la production de cette plante filamenteuse qui serait *filée* avec une matière d'abord produite. Poursuivons la description que Vaillant donne de cette plante. Elle s'étend de tous côtés, quelquefois jusqu'à

[1] Ce mémoire, lu à l'Académie des Sciences le 3 mars 1834, a été publié dans les Nouvelles Annales du Muséum d'histoire naturelle, tome III.

[2] Botanicon Parisiense.

un pied ou deux, collée sur le bois qui la porte, offrant de nombreuses ramifications de grosseurs différentes, qui représentent assez bien celles des vaisseaux du mésentère. Les plus grandes finissent par des pelotons de filaments semblables à ceux de la moisissure, gros d'un pouce à trois pouces, et représentant des flocons de neige. De ces gros pelotons sortent certains corps d'une structure très-différente; ils ressemblent à *des rayons de miel*, offrant comme eux des cellules tubuleuses contiguës et séparées les unes des autres par des cloisons très-minces. Vaillant considère ce corps comme l'ovaire de la plante; cependant il n'a pu y découvrir aucune poussière qu'on pût prendre pour la graine.

Près d'un siècle après cette observation de Vaillant, Palissot de Beauvois en a publié une exactement semblable [1]; en sorte qu'il n'est pas douteux qu'il n'ait observé la même plante. Elle commence de même par un peloton de filaments semblables à de la moisissure; c'est le premier âge de la plante. De ce peloton sortent des filaments qui se ramifient à l'infini en se collant sur les corps humides qui les supportent; c'est le second âge de la plante. Dans ces deux âges, la plante a reçu des noms génériques différents. Sous sa première forme c'est le *byssus floccosa* de Dillenius, et le *dematium bombycinum* de Persoon; sous sa seconde forme, c'est *corallofungus argenteus omentiformis* de Vaillant, et le *byssus parietina* de la Flore française. Sur les ramifications de cette plante, Palissot de Beauvois a vu se développer des pelotons de byssus semblables à des filaments de moisissure, au milieu desquels apparurent des faisceaux de tubes, dont il donne la figure, et qui paraissent être en tout semblables à ces corps comparés à des *rayons de miel* par Vaillant. Palissot de Beauvois les regarde de même comme la fleur ou comme le réceptacle des organes reproducteurs de la plante. A l'inspection de la figure de ces faisceaux de tubes, il est impossible de ne pas reconnaître les organes tubuleux qui doublent inférieurement le chapeau des bolets. Cependant, c'est à cela seul que se borne l'observation de Palissot de Beauvois. Il n'a point vu le bolet lui-même, dont les faisceaux de tubes semblaient indiquer la présence. Cette observation est, comme on voit, la reproduction exacte de celle de Vaillant; elle laisse entrevoir que le *byssus parietina* a pour fruit un bolet, mais elle ne le prouve pas évidemment. Toutefois, Palissot de Beauvois part de cette observation pour émettre l'idée que le *blanc de champignon*, au moyen duquel les jardiniers reproduisent sur les couches l'agaric comestible, est le byssus souterrain ou la plante rameuse dont cet agaric est le fruit. La justesse de cette idée sera complétement démontrée par les observations qui vont suivre; mais on doit convenir que cette verité était ici plutôt entrevue que démontrée. Aussi la botanique a-t-elle continué à séparer et à considérer comme des genres distincts les byssus et les agarics. Cependant il est vrai de dire qu'il est généralement admis parmi les cryptogamistes, que ce que l'on appelle vulgairement *un champignon* est l'organe de la fructification d'une plante ordinairement souterraine. H. Cassini a prouvé ce fait pour le genre morille [2]; il a vu que le *phallus impudicus* tire son origine de filets blancs, de la grosseur d'une ficelle, anastomosés en forme de réseau, et rampant horizontalement à une certaine profondeur au-dessous de la surface du sol. Ces filets donnent naissance à des excroissances globuleuses qui, grossissant peu à peu, soulèvent le terrain, et se produisent au dehors; c'est le champignon contenu dans son *volva* qu'il déchire subséquemment en continuant de s'accroître. L'auteur de cette observation pense que ces filets souterrains doivent être considérés comme un *thallus* analogue à celui des *lichens*, ou plutôt à celui des *erysiphe*. Il pense que tous les autres champignons,

[1] Annales du Muséum d'histoire naturelle, t. VIII.
[2] Bulletin des Sciences de la Société philomatique, 1817, page 106.

proprement dits, ont également un *thallus* duquel ils tirent leur origine, et qui est situé tantôt dans l'intérieur de la terre, tantôt à la surface des corps, sur lesquels croissent les champignons.

Cette idée se trouve confirmée par les observations récentes de M. Turpin sur cette plante filamenteuse microscopique qui, semblable à de la moisissure noire, croît sur les feuilles de plusieurs végétaux, et notamment sur celles du pêcher et de l'oranger, plante microscopique que Risso a décrite sous le nom de *dematium monophyllum*, et que Persoon a placée dans son genre *fumago*. M. Turpin a vu que cette plante filamenteuse ou confervoïde est un thallus, sur lequel se développent des organes de fructification, semblables pour la forme à une corne d'abondance, et qui sont de véritables champignons, dans le sens vulgaire de ce mot. Risso avait déjà fait la même observation, mais avec moins de détail et d'exactitude.

Il est généralement connu que l'agaric comestible est l'organe de la fructification d'une plante filamenteuse souterraine que les jardiniers nomment blanc de champignon. Cette plante filamenteuse ou ce thallus ne se présente point à nous dans son état d'intégrité; elle est divisée en petits fragments dans le terreau dont se servent les jardiniers pour reproduire sur couches l'agaric comestible. J'ai eu occasion d'observer dans son état parfait d'intégrité la plante filamenteuse qui était le thallus d'une autre espèce d'agaric. Je trouvai, sur une muraille humide, un *byssus parietina flavescens* (Flore française) qui s'était développé en rameaux concentriques, dont les ramuscules anastomosés dans tous les sens les uns avec les autres, formaient un réseau à mailles innombrables. Sur ce byssus s'étaient développés trois agarics à chapeau conique, dont je ne pus déterminer l'espèce, parce qu'ils commençaient à noircir en se flétrissant. Je vis très-nettement la continuité organique qui existait entre les filaments rameux du *byssus parietina* et les pédicules des agarics; ainsi il me fut démontré que les agarics dont il s'agit étaient les organes de la fructification du *byssus parietina* dont je voyais les ramifications nombreuses étendues sur la muraille; ici la plante était dans son état d'intégrité parfaite.

Les faits qui prouvent que les agarics sont les fruits d'un byssus, prouvent implicitement la même chose par rapport à d'autres champignons, tels que les bolets, les morilles, les hydnes, les helvelles, etc., auxquels les observateurs ont reconnu des sortes de racines qui ne sont évidemment que des thallus souterrains. Cela a été prouvé directement pour les morilles, par H. Cassini, et pour les bolets par Vaillant et par Palissot de Beauvois, dont les observations ont été relatées plus haut. Bulliard a vu et figuré ces prétendues racines que possèdent beaucoup de champignons, et il est facile de voir, par exemple, dans la figure qu'il donne du bolet, du saule [1], que ces racines prétendues, situées entre le bois et l'écorce de l'arbre pourri, sont véritablement les filaments d'un byssus réticulé. Le bolet est le fruit de ce byssus comme l'agaric est le fruit du byssus réticulé et rameux qui le produit. Dès qu'il est démontré que les champignons, dans le sens vulgaire de ce mot, sont les fruits d'un byssus, il devient évident que les byssus ne doivent plus former dans nos catalogues un genre distinct; il doivent se réunir aux *champignons fruits*, qui seuls offrent aux botanistes des caractères distinctifs faciles à saisir. On ne peut en effet tirer aucun caractère distinctif et spécifique de la couleur noirâtre, blanche, jaunâtre, ou rougeâtre des byssus, pour les classer, les mêmes couleurs et les mêmes formes générales pouvant appartenir à des byssus différents. Ces byssus sont aussi nombreux dans leurs genres et dans leurs espèces que le sont les genres et les espèces des champignons qui sont leurs organes de fructification. Ces derniers, au reste, diffèrent essentiellement des fruits des végétaux verts, en cela qu'ils parais-

[1] Champignons de la France, planche 433.

sent avoir une vie indépendante de celle de la plante rameuse qui les produit. Il est difficile de croire, en effet, que la grande quantité de sucs nutritifs qui sont nécessaires pour leur rapide et quelquefois prodigieux accroissement, leur soit fournie exclusivement par les filaments du byssus qui leur a donné naissance. Il est bien probable que le champignon puise lui-même dans le sol où il est implanté la majeure partie de ces sucs nutritifs, se comportant ainsi comme une plante à part qui a son individualité. Ce *fruit-plante* n'a qu'une durée de vie extrêmement courte, lorsque son tissu est mou : mais il peut vivre un assez grand nombre d'années lorsque son tissu est ligneux. C'est ainsi que l'on voit certains bolets porter jusqu'à dix années au moins l'existence de leur vie, s'accroissant graduellement par couches qui se recouvrent pour l'accroissement en épaisseur, et s'accroissant par zones concentriques pour l'accroissement en diamètre. Ces champignons sont donc véritablement des *fruits-plantes* qui, chaque année, émettent de nouvelles semences en renouvelant les organes tubuleux qui les produisent. Les bolets dont l'existence est éphémère sont par conséquent aussi des *fruits-plantes*, mais ils sont privés des conditions de la longévité. On en devra dire autant des agarics, car la nature n'a point établi de distinction tranchée entre eux et les bolets. On sait, par exemple, que l'agaric labyrinthiforme a son chapeau doublé en partie de lames, et en partie de tubes [1]; il est à la fois agaric et bolet.

C'est à la disposition qu'ont les thallus souterrains des agarics à se développer circulairement qu'est due la formation de ces cercles marqués par un développement extraordinaire de la végétation des graminées dans certaines prairies; cercles qui, dans des temps d'ignorance et de superstition, ont été nommés *cercles des sorciers*, *cercles des fées*. Au milieu d'une prairie peu fertile, dont l'herbe courte est jaunâtre, on voit souvent un cercle très-régulier formé par des graminées qui végètent avec vigueur, et dont la couleur est d'un vert foncé. Ce n'est qu'à la circonférence de cet espace circulaire qu'existe cette végétation active; son intérieur est aussi stérile que l'est la terre qui l'environne. Ce phénomène frappe de surprise ceux qui en ignorent la cause. A une certaine époque de l'année, on voit naître des champignons en dehors de ce cercle de gazon, lequel, l'année suivante, se trouve occuper la place où se trouvaient ces champignons. Ainsi chaque année il y a une nouvelle production de champignons toujours plus éloignés du centre, et chaque année le cercle de gazon s'accroît en diamètre. La cause de ces phénomènes se laisse pénétrer facilement. Un *thallus* d'agaric développe ses filaments souterrains en les projetant concentriquement dans une direction horizontale. Les agarics naissent tous sur ce thallus souterrain à une distance à peu près pareille de son centre. Ces agarics, par leur décomposition, fertilisent le terrain sur lequel ils sont nés : il paraît, en outre, que le thallus circulaire qui s'accroît sans cesse par sa circonférence, meurt par sa partie qui regarde le centre, lorsqu'elle a produit les champignons; en sorte que sa décomposition forme un engrais de plus pour le gazon, qui acquiert ainsi dans cet endroit une vigueur de végétation extraordinaire. Les agarics présentent assez rarement cette disposition concentrique; le plus souvent ils naissent sans aucun ordre. Cela provient de ce que leur thallus souterrain a trouvé des obstacles à son développement concentrique régulier, et qu'il n'y a que quelques-uns de ces rayons, et souvent même qu'il n'y a que des rayons isolés de ce thallus qui se sont développés. Il y a, dans la terre végétale, des conditions particulières qui favorisent le développement des thallus des champignons : en sorte que ces thallus ne se développent que partiellement et d'une manière irrégulière, là où la terre végétale n'est pas homogène,

[1] Bulliard, Champignons de la France, planche 352.

et douée partout des qualités nécessaires pour cette végétation particulière. Aussi les cercles de gazon, mentionnés plus haut, se trouvent-ils souvent incomplets et interrompus dans certaines parties de leur circonférence.

DEUXIÈME PARTIE.

Mon observation, rapportée plus haut, ne laissait point de doute sur ce fait, que le champignon agaric est le fruit d'un *byssus parietina*. Mais il manquait à cette observation d'avoir vu naître ce fruit. Un hasard heureux m'a mis à même de compléter mes recherches sur cet objet. Au mois de décembre (1833), je trouvai dans ma cave, qui est très-humide, un *byssus parietina argentea* (Flor. fr.) qui se développait dans plusieurs endroits sur ces planches munies de trous nombreux qui servent à placer les bouteilles vides. Cette plante, dont je vis les premiers développements, apparut d'abord sous forme de courts rayons qui partent d'un centre commun, ainsi que cela est représenté, fig. 1. Dans des plantes plus développées on voit ces rayons ramifiés (fig. 2); plus tard leurs ramifications deviennent de plus en plus nombreuses; elles s'entre-croisent, se greffent les unes aux autres, et forment ainsi un réseau ramifié qui s'étend assez loin (fig. 3). Cette plante, comme on voit, diffère de celle qui a été observée par Vaillant et par Palissot de Beauvois, en ce qu'elle affecte, dès le principe, la forme qui, pour les précédents observateurs, est celle du second âge de la plante; elle n'en diffère pas moins par *les fruits* auxquels elle donne naissance. Ces fruits, chez la plante de Vaillant et de Palissot, paraissent être des bolets qui se sont incomplétement développés ou qui sont avortés; chez la plante qui fait le sujet de la présente observation, *ces fruits* sont des *cantharellus*, leur mode d'origine fut très-curieux à observer.

Tant que le *byssus parietina* s'accrut collé à la plante qui le supportait, il conserva sa disposition rameuse. Parvenu aux bords de la planche, ou des trous dont elle était percée, ses ramifications devinrent descendantes, et, dans ces endroits privés d'appuis, elles devinrent pendantes dans l'air sous forme de faisceaux composés de filaments de byssus très-fins et très-allongés, comme on le voit dans les figures 4 et 5; ces filaments rapprochés les uns des autres devinrent bientôt adhérents à l'extrémité inférieure du faisceau (fig. 5), où l'on remarquait une assez grande quantité d'eau interposée; cette agglomération fasciculaire de filaments de byssus, dans l'extrémité inférieure de laquelle les fluides de la plante étaient précipités et accumulés par l'action de la pesanteur, devint renflée à cette extrémité inférieure, comme on le voit dans la figure 6. Ce renflement pyriforme augmenta rapidement, comme on le voit dans la figure 7. Bientôt après, dans la partie terminale et inférieure du renflement, il se manifesta une crevasse qui laissa apercevoir un corps jaune dans l'intérieur, ainsi que cela est représenté dans la figure 8. Ce corps jaune était un *cantharellus* rudimentaire, lequel, contenu dans une enveloppe composée de filaments de byssus agglomérés, enveloppe qui était son *voile* (*velum*), acheva bientôt de rompre cette enveloppe, et se produisit au dehors sous la forme qui est représentée par les figures 9 et 10. La figure 10 représente le cantharellus, vu par sa face inférieure, qui est pourvue de lames jaunes. La figure 9 fait voir le champignon par sa face supérieure, laquelle est blanche, et ne présente à l'œil, armé de la loupe, que des filaments entre-croisés de byssus. C'est le *voile* non recouvert d'épiderme, qui est demeuré adhérent à la face supérieure du champignon, et que l'on en détache avec assez de facilité. Alors on voit que la véritable face supérieure de ce champignon est jaune et extrêmement mince. Très-rarement cette séparation du *voile* de la face supérieure du champignon s'opère spontanément, et lorsque cela arrive ce n'est que lorsque ce cantharellus commence à vieillir. Tant qu'il jouit de la plénitude de sa vie, il conserve son *voile* d'un blanc

éclatant, et recouvrant complétement la face supérieure de son chapeau. Ce *voile*, dont on vient de voir la formation s'opérer par l'agglomération des filaments de byssus, est devenu un véritable tissu organique, dans lequel les filaments de byssus entrent comme parties composantes du tissu, en conservant leurs formes primitives. On assiste ainsi, dans cette circonstance, à la confection ou à la construction d'un tissu organique, et l'on va voir tout à l'heure ce phénomène curieux se continuer.

Le cantharellus dont il est ici question est irrégulier; son chapeau n'offre qu'une portion de cercle; très-souvent il n'a point de pédicule, et quelquefois il en possède un, comme on va le voir tout à l'heure.

Le cantharellus sans pédicule est représenté complétement développé et de grandeur naturelle par les figures 12 et 13. Il est inutile de dire que ce cantharellus, vu ici par ses deux faces, n'est point représenté dans sa position naturelle. La face inférieure (fig. 13) était tournée vers la terre, la face supérieure (fig. 12) était collée au-dessous de la planche; elle y adhérait par le *voile* qui la recouvrait, et pouvait puiser, par cette voie, des sucs nutritifs dans la planche très-humide à laquelle elle adhérait. Il n'en est pas de même pour les cantharellus qui, semblables par leur position originelle à celui qui est représenté par les figures 9, 10 et 11, ne peuvent recevoir leurs sucs nutritifs que par les filaments du faisceau du byssus auxquels ils sont suspendus. L'afflux des liquides nutritifs par cette voie exclusive fait que le faisceau de filaments de byssus, auquel le cantharellus est suspendu, devient le siége d'une nutrition active; ces filaments de byssus se multiplient dans leurs interstices où se trouve épanché un liquide abondant qui paraît servir à leur nutrition; ils forment ainsi un tissu fibreux, lequel est construit avec des fibres primitivement isolées; c'est un véritable tissu organique; il constitue le pédicule *b* (fig. 11), pédicule qui paraît ici être implanté sur la face supérieure de ce champignon. J'ai pu facilement apercevoir la cause de cette disposition anormale du pédicule, en suivant par l'observation le développement de plusieurs cantharellus semblablement disposés. Je dois dire d'abord que je n'ai vu aucun de ces cantharellus naître du byssus à la face supérieure de la planche qui portait ce dernier; tous sont nés dans les touffes de filaments qui pendaient sous cette planche, et plus ou moins rapprochés de cette dernière, au-dessous de laquelle plusieurs d'entre eux adhéraient immédiatement par la face supérieure de leur voile. La face lamelleuse de ce cantharellus regardait toujours la terre; en sorte que, contradictoirement à ce qui a lieu ordinairement chez les champignons, elle ne regardait point le pédicule auquel le chapeau était suspendu, au lieu d'être porté sur lui comme cela a lieu ordinairement. Le pédicule descendant de ce cantharellus, lorsque ce pédicule existe, est toujours inséré sur le côté de ce champignon irrégulier à l'endroit où convergent ses lames. Si, dans la figure 11, l'insertion de ce pédicule paraît située sur la face supérieure, cela provient de ce que cette insertion, sans cesser d'être véritablement latérale, a été dépassée subséquemment par le développement en arrière du chapeau.

Comme on vient de le voir, le pédicule *b* (fig. 11), n'existait pas dans les premiers temps, ou ne consistait que dans des filaments de byssus qui étaient isolés. Ces filaments se sont réunis, se sont multipliés, se sont soudés les uns aux autres en formant un réseau qui a retenu des liquides dans ses mailles; il s'est formé ainsi un tissu organique fibreux, dont la *construction* ou la *confection* s'est opérée sous les yeux de l'observateur. C'est le même phénomène que celui qui a été noté plus haut par rapport au tissu organique du *voile*. Dans la confection de ces tissus organiques, la nature fait, pour ainsi dire, ce que fait l'homme lorsqu'il fabrique des tissus; il forme d'abord des fils, et il les réunit ensuite d'une manière déterminée. Ainsi le *voile* et le pédicule de l'agaric sont *con-*

struits sous les yeux de l'observateur avec des matériaux filamenteux organiques préexistants; et dans le tissu qu'ils composent, ces filaments organiques devenus *fibres composantes,* conservent complétement leurs formes primitives. En effet, l'observation microscopique des filaments libres du byssus (figure 18), fait voir qu'ils sont parfaitement homogènes; on n'y distingue aucune composition élémentaire, on n'y aperçoit aucune articulation; ce sont des fils tout d'une venue : ils portent sur leurs parois des globules qui sont les séminules de cette plante. Cela est prouvé par leur disposition, comme par leur couleur, qui, comme on va le voir, sont les mêmes que la disposition et la couleur des séminules du cantharellus. Lorsque ces séminules sont peu nombreuses sur les filaments du byssus, qui sont blancs, on n'aperçoit aucune teinte jaune dans ce byssus; mais, lorsque ces séminules y deviennent abondantes, cette couleur jaune y devient très-marquée. Aussi les petites touffes de ce byssus, qui, semblables à de la moisissure, offrent des filaments très-pressés, sont-elles à leur base d'une couleur jaune très-intense, et le microscope fait voir que cette couleur est due à l'abondance extrême des séminules qui se sont accumulées dans cet endroit. Si l'on porte actuellement l'œil, armé du microscope, sur le tissu organique qui constitue le *voile* (figure 17), on voit que ce tissu est composé de filaments de byssus extrêmement fins, formant un tissu feutré, et portant sur leurs parois les mêmes séminules que l'on observe sur les filaments libres du byssus. Comme leur nombre n'est pas très-considérable, ils ne communiquent point de teinte jaune au tissu filamenteux qu'ils forment par leur assemblage; ce tissu demeure blanc. Le pédicule offre un tissu légèrement jaunâtre; il est composé de filaments de byssus généralement longitudinaux, et portant une assez grande quantité de séminules qui communiquent leur couleur à ce tissu jaunâtre.

Le tissu du chapeau et des lames du cantharellus est d'une belle couleur jaune; cette coloration est due à la prodigieuse quantité de séminules que contiennent ces parties. La figure 14 représente la coupe longitudinale de ce cantharellus; *a* est le *voile* demeuré adhérent à la face supérieure du chapeau; *b b* sont les lames de couleur jaune qui doublent inférieurement le chapeau. La substance charnue de ce dernier, substance qui supporte les lames, est tout à fait rudimentaire; elle se réduit à une couche membraneuse extrêmement mince. Le nombre des séminules qui existent dans les lames de ce cantharellus est tellement considérable, que j'avais d'abord été porté à penser que ces lames en étaient entièrement composées. Je n'y apercevais point de fibres ou de filaments organiques; mais M. Turpin ayant examiné le tissu de ces lames avec un microscope meilleur que celui que j'avais alors à ma disposition, m'a fait voir dans ces lames les filaments organiques que je n'y avais point d'abord aperçus. La figure 15 représente, très-grossie, la coupe du cantharellus dans le sens longitudinal de ses lames. On voit en *a* la coupe transversale du *voile* appliqué sur la face supérieure du chapeau du cantharellus. La lame *b* offre des fibres d'une finesse extrême qui sont dirigées parallèlement en bas, offrant dans leurs interstices une foule prodigieuse de séminules jaunes. Ces fibres filamenteuses paraissent tout à fait semblables aux filaments de byssus de la plante-mère et à ceux dont l'assemblage forme le tissu du *voile.* M. Turpin pense que les nombreuses séminules sont adhérentes aux parois de ces filaments, comme cela est représenté dans la figure 16. Je dois à son obligeance les dessins d'après nature qui représentent les diverses phases du développement et de la fructification de ce *byssus cantharellus.* Je fusse difficilement parvenu, par le moyen du seul discours, à faire comprendre, aussi bien que par le moyen de figures faites avec autant de perfection, les phénomènes que j'avais observés. M. Turpin en répétant ces observations avec moi, les a fortifiées de son témoignage, et y a ajouté les faits de détail que j'ai eu soin d'indiquer.

Il résulte de ces observations, que le cantharellus est composé des mêmes éléments organiques qui constituent son *voile*, c'est-à-dire de filaments de byssus et de séminules; seulement les proportions respectives de ces deux éléments organiques sont différentes. Favorisé par d'heureuses circonstances, j'ai pu assister à la confection du tissu organique du *voile* et du pédicule du cantharellus; mais le chapeau lamelleux, né dans l'intérieur de ce *voile*, a dû me dérober le mode de son origine. On remarquera, non sans surprise, que les filaments de byssus qui par leur réunion et leur agglomération forment le pédicule et le *voile*, appartiennent à des rameaux différents du *byssus parietina;* en sorte que les filaments fibreux qui entrent dans la composition du *bourgeon* producteur du cantharellus, n'ont point la même origine sur la plante-mère. J'ai constaté ce fait important avec le plus grand soin.

Cette observation confirme celle que j'avais faite précédemment, que le champignon *agaric* est le fruit d'un *byssus parietina;* mais ce qu'elle offre de plus remarquable, c'est la découverte du mode d'origine et de la formation du *bourgeon*, dans lequel naît le cantharellus. J'ai fait voir que le tissu organique de ce *bourgeon* ou de ce *voile* était *construit*, ainsi que le tissu organique du pédicule du cantharellus, avec des filaments de byssus primitivement isolés, en sorte qu'il est prouvé que ce tissu organique vivant est composé par l'association d'un grand nombre de filaments vivants, qui ont chacun leur individualité ou leur vie particulière. Ce fait, d'une importance majeure en physiologie, confirme pleinement, pour le cas dont il s'agit ici, les assertions émises depuis longtemps par M. Turpin, qui, comme on sait, considère les végétaux comme des êtres complexes, formés par la réunion en tissu organique d'une immense quantité d'êtres vivants filiformes ou globuleux.

Les séries linéaires de cellules allongées et articulées, si abondamment répandues dans le tissu des végétaux, et qui sont considérées par tous les physiologistes comme des vaisseaux, sont regardées par M. Turpin comme des *tigellules* articulées, ayant chacune leur vie particulière. Je dois convenir que cette opinion, qui m'avait paru peu admissible, se trouve rendue plausible par mes observations présentes, et je pense qu'il est très-possible de la rendre concordante avec l'opinion générale des physiologistes, qui regardent ces *tigellules* comme des vaisseaux. Ces tigellules, en effet, sont tubuleuses ou le deviennent. Leur canal intérieur peut donc servir au transport des fluides dans le végétal complexe qu'elles forment par leur assemblage, et dont elles deviennent les *organes*.

Lors de la première publication de ce Mémoire, j'avais considéré comme un *agaric* le *cantharellus* dont il est ici question. J'étais induit en erreur à cet égard par son chapeau doublé de lames, à peu près comme l'est le chapeau des agarics. N'ayant point fait une étude spéciale de la cryptogamie, je m'abstins de déterminer l'espèce à laquelle appartenait cet agaric prétendu. M. Turpin, entraîné par la même analogie qui m'avait séduit, admit aussi que ce champignon était un agaric, et, le considérant comme une espèce nouvelle, il le désigna sous le nom d'*agaricus crispus*, dans son Mémoire intitulé : *Observations générales sur l'organogénie et la physiologie des végétaux*, etc. [1]; mais, dans une addition faite plus tard à son Mémoire, il reconnut que le champignon qu'il avait pris avec moi pour un agaric était, dans le fait, un *cantharellus*, et il eut la bonté de me le dédier sous le nom de *cantharellus Dutrochetii*. Un habile cryptogamiste, M. Montagne, a confirmé cette détermination dans son Mémoire intitulé : *Notice sur les plantes cryptogames récemment découvertes en France*, etc [2].

[1] Mémoires de l'Académie des Sciences de l'Institut, tome XIV.

[2] Annales des Sciences naturelles, juin et juillet 1836.

XVII.

OBSERVATIONS

SUR

L'ORIGINE DES MOISISSURES [1].

L'eau qui tient en solution des substances organiques développe très-souvent des êtres vivants *infusoires*, appartenant soit au règne animal, soit au règne végétal. Ces êtres qui ont été regardés par certains naturalistes comme les résultats de générations spontanées, doivent, avec plus de raison, être considérés comme devant leur apparition au développement de germes invisibles qui sont répandus avec profusion dans la nature, et qui n'attendent que des conditions favorables pour naître et pour se développer. On peut placer parmi les végétaux infusoires cette sorte de byssus blanc composé de fils rameux, tantôt articulés, tantôt sans articulations, qui se développe parfois dans l'eau qui tient en solution des substances organiques. C'est à cette production végétale que se rapportent les observations faites par M. Amici, et exposées dans son mémoire intitulé : *Observations sur l'accroissement des végétaux* [2]. M. Amici ayant observé sur les plaies par lesquelles la vigne verse, au printemps, une séve abondante, une sorte de byssus jaunâtre, examina au microscope cette production qu'il trouva composée de fils rameux et composés d'articulations ; il la considéra comme une sorte de conferve : cherchant quelle pouvait être l'origine de cette production végétale, il observa qu'elle apparaissait dans la séve de la vigne recueillie dans des vases, et qu'elle s'y développait avec rapidité. Il fut ainsi conduit à considérer cette production végétale comme devant son origine à une tendance que la séve de la vigne aurait à s'organiser, par conséquent comme étant le résultat d'une génération spontanée. Partant de cette pensée, M. Amici fut porté à admettre que c'est au moyen de cette tendance à s'organiser, que la séve donne naissance au bois dont elle opère l'accroissement. Laissant de côté cette hypothèse, je vais rechercher à quelle classe appartient et quelles sont les conditions dans lesquelles se manifeste ce genre de végétaux filamenteux dont M. Amici n'a observé qu'une seule espèce. Cette recherche fera voir que ces végétaux, quoique composés souvent de fils articulés, ne sont

[1] Ce mémoire a été publié en 1834 dans les Annales des Sciences naturelles, 2e série, tome I.

[2] Annales des Sciences naturelles, tome XXI, page 92.

cependant point des conferves, ainsi que le pense M. Amici. La plupart du temps ils se présentent sous l'aspect d'une sorte de feutre composé d'une multitude de filaments rameux d'une grande ténuité et blancs ou plutôt transparents; jamais ils n'offrent la couleur verte propre aux conferves et aux vauchéries. Aussi les végétaux filamenteux, dont il est ici question, n'ont-ils point besoin de l'influence de la lumière pour vivre et pour se développer; ils croissent aussi bien dans l'obscurité qu'à la lumière. On les voit naître dans l'eau chargée de certaines matières organiques; j'ai vu, comme M. Amici, leur développement dans la séve de la vigne; je les ai vus naître dans l'eau gommée; ils naissent surtout en abondance dans l'eau qui tient en solution un peu de colle de poisson; l'eau qui tient en solution une petite quantité de gélatine de colle forte n'en produit que plus rarement, l'eau qui tient en solution un peu d'albumine d'œuf n'en produit jamais. Je me suis assuré de ce dernier fait par des expériences multipliées. Cela me servira plus bas à rechercher quelles sont les conditions sous l'empire desquelles naissent ces végétaux infusoires, dont il faut d'abord déterminer la nature.

Les végétaux filamenteux dont il est ici question se présentent, comme je viens de le dire, sous l'apparence d'une espèce de feutre composé de fils rameux; c'est spécialement au fond du vase qui contient le liquide dans lequel ils apparaissent que s'opère leur accumulation; cependant on les voit aussi très-fréquemment se développer collés aux parois des vases de verre remplis du liquide dans lequel ils prennent naissance. Lors de leur première apparition, on voit leurs filaments partir en rayonnant d'un centre commun; plus tard, leurs ramifications s'entre-croisant dans tous les sens forment une sorte de feutre. Lorsque le liquide dans lequel se développent ces végétaux infusoires a peu de profondeur et que ces derniers, dans leur développement, atteignent la surface du liquide, on les voit se couvrir, dans l'air, d'une sorte d'efflorescence blanche qui, vue au microscope, se trouve être entièrement composée de moisissures extrêmement petites et de diverses espèces. Il était important de savoir si ces moisissures étaient des végétaux parasites, accidentellement implantés sur les végétaux filamenteux infusoires qui remplissaient l'eau et en occupaient la surface, ou bien si ces mêmes moisissures étaient la production aérienne de ces végétaux aquatiques. Pour m'en assurer, je mis de petites portions de ces derniers dans de petits ménisques (petites capsules de verre semblables à des verres de montre), de 4 à 6 lignes seulement de diamètre et fort aplatis. Un de ces petits ménisques étant saisi au moyen d'une pince, je le plongeais dans l'eau qui contenait en suspension de petites portions des végétaux filamenteux ci-dessus, et je saisissais par ce moyen ces végétaux délicats sans les endommager; ils demeuraient dans le ménisque avec la très-petite quantité de liquide qu'il pouvait contenir. Je plaçais ensuite ce ménisque sous une petite cloche de verre fermée par de l'eau, au-dessus de laquelle il s'élevait, placé sur un petit support. Le végétal filamenteux ainsi placé à fleur d'eau et dans une atmosphère très-humide, se couvrait constamment de moisissures au bout de trois ou quatre jours, et il me devenait ainsi facile de le transporter sous le microscope sans l'endommager. De cette manière je me suis assuré très-positivement que les moisissures sont les productions aériennes des végétaux filamenteux aquatiques, dont il est ici question. J'ai vu de la manière la plus distincte les filaments aériens des moisissures naître des filaments du végétal filamenteux aquatique, tantôt par une production latérale, tantôt par l'émersion de l'extrémité de l'un de ces filaments aquatiques qui, en devenant aérien, devenait par cela même un filament de moisissure et prenait alors une opacité qu'il n'avait pas lorsqu'il était encore filament aquatique. Ainsi il est démontré que les végétaux filamenteux aquatiques, dont il est ici question, sont des *thallus* de moisissures. Ces *thallus*, lorsqu'ils sont entièrement submergés, se dé-

veloppent indéfiniment sous cet état; leur développement est ordinairement rayonnant dans le principe, mais dans la suite il s'opère d'une manière tout à fait irrégulière, en sorte qu'il résulte une sorte de feutre de l'entre-croisement des filaments. Ces derniers sont quelquefois pourvus d'articulations, mais le plus souvent ils en sont entièrement dépourvus. Les moisissures que j'ai vues naître des *thallus* aquatiques, dont il est ici question, m'ont paru appartenir toutes aux genres désignés par Persoon sous les noms de *Monilia* et de *Botrytis*. J'ai observé que tous les thallus, dont les filaments offraient des articulations comme des conferves, donnaient naissance à des *monilies* dont les filaments aériens possédaient aussi des articulations. C'est incontestablement à un thallus de ce genre que se rapporte l'observation de M. Amici sur la prétendue conferve qu'il a vue se développer dans la sève de la vigne. Toutes les monilies cependant n'ont pas des thallus à filaments articulés; lorsque les filaments de ces thallus de monilies sont dépourvus d'articulations, les filaments aériens de ces végétaux microscopiques en sont également dépourvus; quant aux filaments des thallus de *botrytis*, ils ne sont jamais articulés.

Une question importante reste actuellement à résoudre: c'est celle de savoir quelles sont les qualités que doit posséder un liquide pour qu'il s'y développe des thallus de moisissure [1]. J'ai dit plus haut que l'eau qui tient en solution une petite quantité d'albumine d'œuf ne produit jamais de ces thallus. Je suis parti de ce fait pour rechercher quelles sont les qualités chimiques qu'il faut donner à ce même liquide pour y faire naître des thallus de moisissure. Dans ces expériences je ne me suis servi que d'eau distillée, afin d'être plus certain de leurs résultats. Je fais dissoudre une goutte de la partie la plus liquide de l'albumine d'un œuf nouvellement pondu dans une once d'eau distillée que je mets dans un flacon. Ce liquide conservé pendant une année entière exposé à la lumière ou mis dans l'obscurité, ne m'a pas montré la moindre trace de thallus de moisissure; il ne s'y est même pas développé un seul atome de *matière verte*. Ainsi il m'a été bien démontré que ce liquide albumineux est tout à fait impropre à la production ou à la nutrition des végétaux infusoires. J'ai mis en expérience six flacons contenant chacun une once d'eau albumineuse comme ci-dessus, et à chacun d'eux j'ai ajouté une goutte d'acide. Les acides employés furent les acides sulfurique, nitrique, hydrochlorique, phosphorique, acétique et oxalique. Dans l'espace de moins de huit jours, il se manifesta des thallus de moisissure dans ces six flacons; ces thallus naquirent simultanément au fond du vase et sur ses parois, où on les voyait se développer en rayons concentriques. Je mis tous ces thallus en expérience, par le procédé que j'ai indiqué ci-dessus, pour leur faire produire leurs moisissures aériennes: tous, sans exception, produisirent des *monilies* de diverses espèces.

Deux flacons d'eau albumineuse reçurent l'un de la potasse caustique, l'autre de la soude caustique, dans une quantité égale à 0,005 du poids de l'eau. Dans ces deux flacons, il se manifesta des thallus de moisissure, mais ce ne fut qu'au bout de trois semaines environ que ces thallus apparurent. Les végétations aériennes de ces thallus ne me firent voir que des *botrytis* de diverses espèces.

Il paraîtrait résulter de ces expériences que les acides favoriseraient exclusivement la production des monilies, tandis que les alcalis ne favoriseraient que la production des *botrytis*; mais ces résultats ne sont pas constants, ils changent en employant d'autres substances organiques que l'albumine. Ainsi j'ai expéri-

[1] J'emploie ici le nom de *moisissure* dans le sens que lui donne Bulliard, c'est-à-dire dans un sens général. Persoon a divisé le genre Moisissure (*Mucor*) de Bulliard en plusieurs genres, ne réservant le nom de *Mucor* qu'à un seul d'entre eux.

menté que de la fibrine du sang dissoute dans l'eau de potasse étant ajoutée en petite quantité à de l'eau distillée, il naît dans ce liquide des thallus qui produisent des *monilies;* j'ai vu de même que de l'acide phosphorique étant ajouté à de l'eau distillée de laitue, il naît dans ce liquide des thallus de *botrytis*. Dans cette dernière observation, il n'y a dans l'eau d'autre substance organique que celle qui a passé avec elle à la distillation. J'ai observé que cette eau distillée de laitue, pure et abandonnée à elle-même, dépose au fond des vases qui la contiennent une substance blanche qui est entièrement composée de globules microscopiques et qui me paraît être un végétal infusoire; mais jamais cette eau ne produit de thallus de moisissure, et cela parce qu'elle ne contient ni acide ni alcali, conditions indispensables, à ce qu'il paraît, de la naissance de ces thallus; aussi cette eau distillée de laitue produit-elle ces thallus lorsqu'on lui ajoute une petite quantité d'acide. Lorsque les eaux distillées des plantes contiennent un acide qui a passé avec elles à la distillation, elles ne manquent jamais de produire et de déposer dans le fond des vases qui les contiennent des thallus de moisissure. C'est ainsi que j'en ai observé dans l'eau distillée du laurier-cerise (*prunus laurocerasus*), laquelle contient, comme on sait, de l'acide hydrocyanique.

Les solutions de substances organiques qui produisent des thallus de moisissure sans aucune addition d'acide ou d'alcali, doivent sans doute cette propriété à ce qu'elles contiennent naturellement un acide ou un alcali libres, ou bien à ce qu'elles deviennent accescentes. Ce dernier cas est probablement celui de la solution aqueuse de colle de poisson qui produit en grande abondance des thallus de monilies. J'ai expérimenté cependant que cette solution, dans laquelle ces thallus s'étaient développés, ne rougissait point du tout les couleurs bleues végétales; mais cela ne prouve point qu'elle ne contienne point une petite quantité d'acide libre, suffisante pour déterminer l'apparition et le développement des thallus de moisissure. J'ai vu en effet ces thallus naître dans de l'eau albumineuse à laquelle j'avais ajouté une quantité d'acide nitrique assez petite pour ne point changer en rouge les couleurs bleues végétales.

Le sous-carbonate de potasse qui existe dans presque tous les produits végétaux, est alcalin; il contribue probablement à déterminer le développement des thallus de moisissure dans certaines solutions de substances végétales. Ce sel alcalin étant ajouté à l'eau albumineuse y détermine en effet le développement de ces thallus. J'ai expérimenté que le bi-carbonate de potasse produit le même effet, mais il est à remarquer que ce sel n'est jamais complétement neutre; toujours l'alcali y domine légèrement. On se demandera comment il se fait que l'albumine d'œuf, qui contient de la soude en très-petite quantité, ne provoque point en raison de cela la naissance des thallus de moisissure dans l'eau à laquelle on l'ajoute. On peut répondre à cela que la soude dans l'albumine, n'est point à l'état de liberté; mais que, suivant l'opinion de M. Dumas, elle forme avec l'albumine une sorte de composé neutre, un *albuminate de soude*. Je le répète, il faut absolument l'état de liberté d'un acide ou d'un alcali dans l'eau chargée d'une substance organique en solution, pour y déterminer la naissance des thallus de moisissure. La quantité de ces agents chimiques, nécessaire pour produire cet effet, ne peut-être déterminée dans son minimum qui paraît tout à fait inappréciable, mais on peut la déterminer dans son maximum. On sait qu'aucun être vivant ne peut exister dans un liquide trop acide ou trop alcalin. J'ai expérimenté que les thallus de moisissure naissent dans l'eau albumineuse à laquelle on ajoute par demi-once une goutte des acides sulfurique, nitrique et hydrochlorique concentrés. C'est là à peu près le maximum de l'acidité qui puisse permettre la naissance et le développement des thallus de moisissure; quant au maximum de l'alcalinité que puissent supporter ces mêmes thallus, il m'a paru se trouver dans l'eau

qui contient un centième de son poids de soude ou de potasse caustiques.

Aucun sel neutre ajouté à l'eau albumineuse n'y détermine l'apparition des thallus de moisissure. C'est ce dont je me suis assuré par beaucoup d'expériences.

Lorsque je fis mes premières observations sur les thallus de moisissures, j'ignorais leur nature, et, voyant ces végétaux infusoires filamenteux apparaître constamment dans l'eau albumineuse rendue légèrement acide ou alcaline et ne jamais apparaître dans l'eau albumineuse pure, je fus tenté de penser que ces êtres vivants végétaux étaient le produit d'une génération spontanée, ainsi que M. Amici l'avait conclu de même dans son observation rapportée plus haut. Il me paraissait probable que les *germes* invisibles du végétal filamenteux étaient créés par une action chimique de l'acide ou de l'alcali sur la matière organique dissoute dans l'eau, et qu'ils se développaient ensuite, en vertu de l'*action vitale* qui aurait été l'attribut nécessaire de ce composé *chimico-organique moléculaire*, ou de ce *germe*. Telles étaient les idées qui me séduisaient avant d'avoir découvert que ces végétaux filamenteux infusoires étaient des *thallus* de moisissures. Cette découverte fit disparaître tout ce que paraissait avoir de merveilleux l'apparition, dans certains liquides, de ces végétaux infusoires que je produisais en apparence à volonté. Les moisissures ont des semences dont la ténuité est excessive et qui, répandues partout dans l'air atmosphérique, contenues même peut-être dans les liquides animaux et végétaux, se développent, sous forme de thallus filamenteux, lorsqu'elles se trouvent environnées des conditions nécessaires à leur développement. La présence d'un acide ou d'un alcali dans un liquide aqueux chargé de matière organique, n'est ainsi que la condition du développement des thallus de moisissure. L'expérience m'a prouvé l'exactitude de cette dernière théorie. J'ai pris une petite portion de thallus de moisissure, né dans une solution aqueuse de colle de poisson, et je l'ai transporté dans de l'eau albumineuse; il ne s'y est point accru. J'ai mis de même dans de l'eau albumineuse de petites portions de thallus de moisissure, prises dans de l'eau albumineuse acide ou dans de l'eau albumineuse alcaline, ils y sont restés sans prendre aucun accroissement. Ces expériences m'ont prouvé que l'eau albumineuse pure est tout à fait impropre au développement des thallus de moisissure, et que c'est pour cela qu'il n'en apparaît jamais dans ce liquide abandonné à lui-même. Il en est de même de l'eau albumineuse associée à des sels neutres.

XVIII.

RECHERCHES

SUR

LES ENVELOPPES DU FOETUS [1].

L'autorité des grands noms peut quelquefois être un obstacle au progrès des sciences; lorsque, en effet, des savants justement célèbres ont fait d'une partie quelconque de la science l'objet de leurs recherches les plus assidues, lorsqu'ils semblent avoir épuisé sur ce sujet tout ce que la nature leur avait accordé de sagacité et de talent pour l'observation, quel serait l'homme assez présomptueux pour entreprendre de rectifier ou d'augmenter de semblables travaux? Aussi la plupart de ceux qui se livrent à l'étude de la nature cherchent-ils plutôt à se frayer des routes nouvelles qu'à suivre celles qui, déjà parcourues par de grands maîtres, semblent ne plus offrir d'espoir à l'investigateur, ou ne lui présentent plus que d'effrayantes difficultés. Ces reflexions sont applicables au sujet que j'aborde; il n'en est peut-être pas qui ait été étudié par un plus grand nombre d'excellents observateurs, puisqu'à leur tête on trouve *Haller*, *Spallanzani*, *Malpighi*, *Swammerdam*, etc. A coup sûr cet ensemble imposant de grands noms m'eût détourné de m'engager dans les recherches auxquelles je me suis livré, si je n'y avais été poussé par le désir de m'instruire. J'ai voulu voir par moi-même les faits aperçus par ces grands observateurs. Je fus étonné dans le cours de ces travaux de rencontrer des faits inconnus. Ces premières découvertes m'engagèrent dans des recherches plus étendues, qui m'offrirent encore des résultats nouveaux. Je n'aurai point la vaine présomption de me croire, pour cela, meilleur observateur que les hommes célèbres dont je puis avoir complété les travaux, mais je crois devoir cet avantage à la méthode de dissection que j'ai employée. Les œufs que j'ai étudiés ont tous été ouverts et disséqués comparativement dans l'air et dans l'eau. Cette dernière méthode a un avantage immense sur la premère, pour les objets d'une grande délicatesse. Telle membrane, qui dans l'air est inapercevable, se découvre avec toute la facilité possible dans l'eau; l'immersion dans ce fluide, en rendant nulle la cohésion qui nait de l'humectation des surfaces, permet de développer

[1] Ce mémoire, présenté à l'Institut en 1814, a été imprimé dans le tome VIII des Mémoires de la Société médicale d'émulation de Paris. J'y ai fait postérieurement des additions qui ont été publiées dans ces mêmes Mémoires, tomes VIII et IX. J'offre ici la réunion de ces divers travaux revus et placés dans l'ordre convenable; j'y ai ajouté des Recherches sur les œufs de la Salamandre aquatique.

et de suivre dans tous leurs détails des parties qui, dans l'air, ne paraissent souvent être qu'une masse informe. Il est facile de concevoir, en effet, qu'il est impossible d'isoler dans l'air des parties délicates, dont la cohésion entre elles est plus forte que ne l'est la résistance de leur tissu. Avec cette méthode de dissection il m'a été possible d'apercevoir des particularités qui m'eussent échappé en suivant la méthode ordinaire, comme elles ont échappé aux observateurs qui m'ont précédé dans cette carrière. Je ne suivrai point dans l'exposition des faits l'ordre dans lequel ils se sont présentés à mon observation; cette méthode, qui est assez généralement suivie, a sans doute l'avantage de mieux entraîner la conviction en faisant suivre au lecteur l'enchaînement des incidents dans lesquels s'est trouvé l'observateur, mais elle offre nécessairement des longueurs, et j'ai mieux aimé présenter les nouveaux faits que j'annonce dans l'ordre qu'indique leur enchaînement naturel.

Ce mémoire sera divisé en quatre sections :

La première sera consacrée à l'étude des enveloppes du fœtus dans l'œuf des oiseaux ;

La seconde aura pour objet l'étude de l'œuf des reptiles ophidiens et sauriens;

La troisième contiendra l'examen de l'œuf des batraciens et de leurs larves, que je considère comme de véritables fœtus;

La quatrième, enfin, offrira des recherches sur l'œuf des mammifères.

SECTION PREMIÈRE.

Recherches sur l'œuf des oiseaux.

Il n'est peut-être pas en physiologie de phénomènes qui aient été plus étudiés que ceux que présente le développement du poulet dans l'œuf. Le vif sentiment de curiosité qu'inspire naturellement le problème de la formation des animaux, la facilité avec laquelle les premiers phénomènes de cette formation, ou plutôt de ce développement, peuvent être observés dans l'œuf soumis à l'incubation; la fréquence enfin des occasions d'observation, puisque l'observateur peut les faire naître à son gré, sont autant de motifs qui ont dirigé vers ce point l'attention des physiologistes. Les observations sur les phénomènes de l'incubation de l'œuf remontent à Arioste [1]. Parmi les modernes qui se sont occupés de l'étude de ces phénomènes, on distingue Harvey [2], Stenon [3], Malpighy [4], Antoine Maître-Jean [5], Haller [6], Blumenbach [7] et Tredern [8]. Certes, après de telles recherches, après celles surtout auxquelles *Haller* a consacré plusieurs années consécutives, il semble naturel de croire qu'il n'y a plus rien à faire sur cet objet. Mais le champ de la nature est inépuisable, et il est toujours possible d'y trouver à glaner sur les pas de ceux qui y ont fait d'abondantes moissons. S'il est incontestable en effet que la plupart des phénomènes que présente l'œuf soumis à l'incubation, ont été bien vus et parfaitement décrits par les auteurs que je viens de nommer, et notamment par *Haller*, il n'est pas moins certain que tout ce qui est relatif à cet objet, n'est pas encore parfaitement éclairci; c'est ce qui m'a déterminé à m'engager dans les recherches que je vais exposer.

On a beaucoup étudié l'œuf des oiseaux pendant qu'il est soumis à l'incubation; mais aucun observateur n'a dirigé ses recherches sur les changements que subit cet œuf, depuis son apparition dans l'o-

[1] Histoire des animaux. VI. 3.
[2] Exercitationes de generatione animalium.
[3] Actes de Copenhague. 1673.
[4] De formatione pulli in ovo.
[5] Observations sur la formation du poulet.
[6] Mémoire sur la formation du cœur dans le poulet. Opera minora, tome II.
[7] Anatomie comparée.
[8] Thèse sur l'histoire de l'œuf et de l'incubation, soutenue à Iéna en 1808.

Les recherches qui me sont propres datent de 1814; je n'ai dû citer ici aucun des travaux qui ont paru postérieurement.

vaire jusqu'au moment où il est pondu. J'ai dû chercher à remplir cette lacune de la science.

L'œuf des oiseaux se présente dans l'ovaire sous la forme d'un petit globe jaunâtre, qui grossit peu à peu jusqu'à ce qu'il ait acquis le volume qu'il doit avoir; alors il se détache de l'ovaire, tombe dans l'oviducte, où il s'enveloppe d'albumen, et où il prend une coquille calcaire, après quoi il est expulsé. Voilà tout ce que l'on sait sur le phénomène que présente l'œuf des oiseaux avant la ponte; on ignore de quelle manière l'œuf se détache de l'ovaire; on croit généralement que c'est par la rupture du pédicule grêle qui l'attache à cet organe, comme un fruit se détache de l'arbre à l'époque de sa maturité. Cette opinion si probable, si bien fondée sur l'analogie, est cependant démentie par l'observation ainsi qu'on va le voir.

Si l'on examine l'œuf de la poule dans l'ovaire on voit des vaisseaux sanguins très-nombreux, qui se ramifient sur toute sa surface. Ces vaisseaux appartiennent à une membrane au-dessous de laquelle il en existe une autre également vasculaire. Ces deux membranes qui enveloppent l'œuf en entier, ont les mêmes vaisseaux; ce sont elles qui sécrètent la matière émulsive du jaune. En ouvrant avec précaution la seconde de ces membranes, on trouve au-dessous une troisième membrane blanche, diaphane, d'une extrême finesse et nullement adhérente à la membrane vasculaire, qui la recouvre immédiatement. Cette troisième membrane n'a point de vaisseaux; elle ressemble à un épiderme, et elle enveloppe immédiatement la substance émulsive qui constitue le jaune de l'œuf, substance qui, à cette époque a une demi-consistance, ce qui permet d'enlever de dessus elle la membrane qui lui sert de sac. J'ignore quelle est l'origine de cette membrane, que l'on n'aperçoit point dans les premiers temps du développement de l'œuf dans l'ovaire. La cicatricule est située vers l'endroit où se trouve le pédicule qui attache l'œuf à l'ovaire. La membrane propre du jaune s'enlève de dessus la cicatricule avec autant de facilité que de dessus le reste de la surface de ce corps, car à cette époque la matière émulsive du jaune possède assez de consistance, elle n'est point fluide. Alors la cicatricule reste à nu, et on voit qu'elle est formée par une substance émulsive, blanche, pâteuse qui n'est séparée par aucune membrane de la matière jaune; elle lui est seulement superposée; c'est dans cette matière blanche que se développent les premiers rudiments de l'embryon lors de l'incubation. C'est donc dans cette matière blanche qu'existe le germe, lequel n'a aucune adhérence avec la membrane propre du jaune. J'ai mis tous mes soins à éclaircir ce fait. La membrane propre du jaune étant enlevée de dessus la cicatricule, sans avoir manifesté le moindre signe d'adhérence, celle-ci reste parfaitement intacte. En examinant au microscope cette membrane dans l'endroit où elle recouvrait la cicatricule, on ne voit rien qui puisse indiquer une solution de continuité, ni une organisation différente de celle des autres parties de cette même membrane qui recouvrent la matière jaune du vitellus. A la partie opposée au pédicule, on observe, lorsque l'œuf approche de sa maturité, une raie blanchâtre, qui occupe à peu près le tiers de l'un des grands cercles de cette petite sphère. Cette raie est l'indice de la prochaine rupture au moyen de laquelle l'œuf s'échappera de la poche qui le contient. En effet, lorsque l'œuf est mûr, la poche formée par les deux membranes vasculaires qui l'enveloppent s'ouvre suivant la direction de la ligne que je viens d'indiquer, et l'œuf revêtu de sa membrane propre, laquelle n'a aucune adhérence avec cette poche, quitte l'ovaire et est saisi par le pavillon de l'oviducte. La poche, après la sortie de l'œuf, ressemble assez à la capsule bivalve d'un végétal. Désormais inutile, cette poche s'atrophie, elle diminue rapidement de volume, et finit par disparaître. Je reviens actuellement à l'œuf que j'ai laissé à l'entrée de l'oviducte.

L'œuf arrive dans l'oviducte pourvu

d'une seule membrane fine. Transporté dans l'intérieur de ce conduit, il ne tarde point à prendre une seconde enveloppe un peu plus épaisse que la première ; cette seconde enveloppe est la *membrane chalazifère* du vitellus. Cette membrane formée par sécrétion à la surface interne de l'oviducte, en vertu de l'excitation particulière que la présence de l'œuf y occasionne, s'applique et se colle sur l'œuf, qu'elle déborde en arrière et en avant, de manière à lui former les deux prolongements qui portent le nom de *chalazes*. Pourvu de cette seconde enveloppe, l'œuf est porté plus loin dans l'intérieur de l'oviducte ; là il reçoit l'épaisse couche d'albumen qui l'environne. L'œuf avance encore, et dans une nouvelle place, il est enveloppé par une nouvelle membrane formée par la concrétion des sucs versés par les parois de l'oviducte : c'est le premier feuillet de la membrane de la coque qui entoure l'albumen. Une seconde membrane se forme encore en dehors par le même mécanisme : c'est le second feuillet de la membrane de la coque. L'œuf est alors arrivé par-delà la moitié de l'oviducte: chassé plus loin, il reçoit l'enveloppe calcaire, qui se colle sur la membrane de la côque. Pourvu de toutes ces enveloppes, l'œuf ne tarde point à être expulsé.

Ainsi l'œuf des oiseaux possède six enveloppes, desquelles une seule lui appartient primitivement, et les cinq autres lui sont données dans l'oviducte. Ces six enveloppes, sont de l'intérieur à l'extérieur.

1° La membrane propre du vitellus ;

2° La membrane chalazifère du vitellus ;

3° L'albumen ;

4° Le feuillet interne de la membrane de la coque ;

5° Le feuillet externe de la membrane de la coque ;

6° La coquille calcaire.

Les deux premières membranes, intimement collées l'une à l'autre, ne peuvent être séparées dans l'œuf après la ponte ; mais je les ai retrouvées libres et parfaitement distinctes dans l'œuf soumis à l'incubation. Les chalazes ont, avec la cicatricule, des rapports de position qui sont toujours les mêmes, c'est-à-dire que la cicatricule se trouve toujours située sur l'équateur du globe, dont les chalazes occupent à peu près les pôles ; je dis *à peu près*, car on sait que les chalazes ne sont point placées exactement suivant la direction de l'axe du vitellus ; elles divisent cet organe en deux parties d'inégal volume. Celle de ces parties qui est opposée à la cicatricule, étant la plus lourde, tend toujours à occuper la partie inférieure, de sorte que la cicatricule, toujours placée à la partie supérieure, se trouve disposée de la manière la plus convenable pour recevoir l'influence de la chaleur de l'oiseau pendant l'incubation. Ce mécanisme, aussi simple qu'admirable, est un résultat de la nature des rapports préétablis qui existent entre la situation de l'œuf dans l'ovaire, la position du pavillon de l'oviducte et la forme de ce dernier. L'œuf se présente au pavillon de l'oviducte par sa partie opposée à la cicatricule. Le pavillon situé latéralement sur l'oviducte transmet l'œuf dans la cavité de ce dernier, dans la même position où il l'a reçu ; c'est-à-dire que la cicatricule se trouve placée sur l'équateur du globe vitellin, dont l'axe se trouve dirigé à peu près selon la direction de l'oviducte, lequel est conformé de sorte que l'axe de sa cavité n'est point le même que l'axe du vitellus. Ce dernier se trouve ainsi divisé par ses chalazes en deux parties de volume inégal, dont la plus légère est celle du côté de laquelle est la cicatricule.

La formation de la coquille calcaire de l'œuf des oiseaux a été indiquée par certains auteurs d'une manière différente de celle que je viens d'exposer. Fondés sur ce fait que l'urine des oiseaux contient du carbonate calcaire, ils ont prétendu que c'était par le dépôt de cette substance contenue dans l'urine que se formait la coquille de l'œuf, lorsque ce dernier était parvenu dans le cloaque. Ceci est une erreur matérielle, puisqu'on trouve l'œuf muni de sa coquille, lorsqu'il est encore contenu dans l'oviducte. D'ailleurs, l'ordre établi dans l'organisme veut que chaque fonction possède dans les organes qui lui

sont départis tous les moyens d'accomplir chacun des actes qui lui sont propres. Il serait étrange que la fonction de la génération eût besoin d'emprunter à la fonction de dépuration urinaire les matériaux nécessaires pour compléter l'œuf. Au reste, le mécanisme de la formation des enveloppes de l'œuf avant la ponte, tel que je viens de l'exposer, peut expliquer d'une manière très-satisfaisante un phénomène qui a été noté par plusieurs observateurs. Souvent il est arrivé que l'on a trouvé deux œufs munis chacun de leur coquille contenus l'un dans l'autre. L'œuf intérieur, servant en quelque sorte de vitellus, était enveloppé d'albumen, et celui-ci environné par une membrane de la coque que recouvrait la seconde couche calcaire. Il suffit pour que ce phénomène ait lieu que l'œuf déjà muni de sa coquille, et ordinairement assez petit, rétrograde par une cause quelconque dans l'oviducte; parvenu, dans ce mouvement rétrograde, à l'endroit où l'œuf s'enveloppe d'albumen, cette substance se sécrète et l'environne; marchant alors de nouveau vers la terminaison de l'oviducte, cet œuf, ainsi doublé, prend successivement une nouvelle membrane de la coque et une nouvelle coquille.

L'isolement complet où se trouve l'œuf des oiseaux dans l'intérieur de sa capsule fournit matière à un rapprochement entre cet œuf et celui des batraciens et des poissons. L'œuf de ces derniers animaux est fécondé après la ponte par le fluide spermatique dont le mâle les arrose, de sorte que la fécondation s'opère par le simple contact du fluide spermatique sur la surface externe de l'œuf qui très-probablement absorbe ce fluide. La chose se passe de la même manière chez les oiseaux dont l'œuf est fécondé dans l'ovaire, au lieu de l'être après la ponte. Le fluide séminal du coq est déposé dans le cloaque de la poule; comment parvient-il dans l'ovaire, on l'ignore; mais le fait est qu'il y parvient, et que c'est dans cet organe que s'opère la fécondation, puisqu'une poule séparée du coq continue à pondre des œufs fécondés pendant quinze jours. Or, de quelque manière que le fluide spermatique arrive aux œufs, il ne peut les féconder qu'en touchant leur surface, puisqu'il n'ont aucune communication organique avec l'ovaire. Ce n'est point sans admiration qu'on voit la constance de la marche de la nature même au travers des anomalies auxquelles elle semble souvent s'abandonner.

Prenons actuellement l'œuf de la poule et suivons-le dans toutes les phases de l'incubation. Un des premiers effets de l'incubation, est de faire évaporer la partie la plus fluide de l'albumen, et d'occasionner ainsi un vide dans l'intérieur de l'œuf. Ce vide, placé au gros bout, est rempli par de l'air qui s'interpose aux deux feuillets de la membrane de la coque; le feuillet externe reste collé à celle-ci, et le feuillet interne suit l'albumen qui se retire. Le vitellus ne tarde point à abandonner le centre de l'albumen qu'il occupait; la *chalaze* du gros bout se détache de la membrane de la coque; alors le vitellus s'élève vers la partie supérieure de l'œuf et s'applique sur la membrane de la coque, plaçant ainsi la cicatricule de manière à ce que l'embryon qu'elle renferme puisse recevoir l'influence de l'air nécessaire à sa respiration et par conséquent à sa vie et à son développement. Le poulet cependant s'entoure d'une aréole de vaisseaux sanguins qui s'étend graduellement; ces vaisseaux sont les vaisseaux propres du vitellus, ils servent à cette époque au triple usage de la respiration, de l'absorption du vitellus et de celle de l'albumen, car la membrane vasculaire qui enveloppe l'albumen à une époque plus avancée, n'existe pas encore. Si en effet on examine l'œuf à la fin du troisième jour de l'incubation, on trouve le vitellus enveloppé en entier par une membrane fine, diaphane et sans vaisseaux; cette membrane est la membrane chalazifère qu'on aperçoit de même les jours précédents, mais qui ne peut qu'à cette époque être enlevée de dessus la totalité du vitellus. En l'enlevant on entraîne les deux *chalazes*, ce qui prouve qu'elles sont une continuation de cette membrane. L'aréole

des vaisseaux sanguins étant, comme le poulet lui-même, située sous cette membrane chalazifère, il est clair qu'aucune dépendance de l'embyron ne s'étend encore sur l'albumen. Cependant le fluide albumineux, absorbé par les vaisseaux du poulet, n'a pas servi seulement à la nutrition de celui-ci, il a servi à opérer la liquéfaction de la matière du vitellus. Cette matière, épaisse et visqueuse avant l'incubation, est devenue dès le troisième jour d'une fluidité remarquable, et le vitellus a grossi considérablement par l'effet du fluide aqueux qui a été versé dans son intérieur. Dans le courant du quatrième jour de l'incubation, le vitellus de plus en plus distendu rompt sa membrane chalazifère, laquelle reste en partie appliquée sur lui et en partie collée sur la membrane de la coque, à laquelle elle est contiguë. La membrane propre du vitellus se présente alors à nu; on trouve le poulet immédiatement sous cette membrane propre, qui adhère à l'amnios dans l'endroit qui correspond au dos du poulet. L'amnios lui-même est exactement appliqué sur ce dernier; aucun fluide n'existe encore dans son intérieur. C'est dans le courant de ce même quatrième jour que paraît une petite poche vasculaire, à laquelle tous les anatomistes ont donné le nom d'*allantoïde*. Comme ce nom a été appliqué, chez les mammifères, à une membrane ou à une poche qui n'est pas en tout identique avec celle que j'indique ici, je désignerai celle-ci sous le nom de *vessie ovo-urinaire;* car c'est dans son intérieur que s'épanche l'urine du poulet. Cette vessie ovo-urinaire naît du cloaque du poulet, cloaque que l'on ne voit bien qu'un peu plus tard et qui représente alors un canal semblable à l'intestin auquel il fait suite; elle sort de l'abdomen par l'ouverture ombilicale; cette ouverture ressemble alors à une fente longitudinale, mais elle diminue les jours suivants de manière à devenir circulaire, et de cette façon elle rapproche la vessie ovo-urinaire des vaisseaux du vitellus dont cette poche paraissait éloignée lors de son apparition. L'amnios se réfléchit vers le corps du poulet sur les bords de l'ouverture ombilicale, de sorte que la vessie ovo-urinaire se trouve située hors de cette membrane de même que le vitellus. Celui-ci est muni, comme on le verra, d'un *sac péritonéal herniaire*. La vessie ovo-urinaire n'entraîne avec elle aucune enveloppe. La figure 1, pl. 23, représente l'œuf au quatrième jour de l'incubation, et vu par sa partie supérieure; *a* est le poulet recouvert immédiatement par l'amnios qui lui est contigu; *b* est la vessie ovo-urinaire dans laquelle on observe déjà de petits vaisseaux sanguins; *cc* les vaisseaux du vitellus, formant l'aréole. La figure 2 représente la coupe verticale de l'œuf à cette même époque; *a* est le poulet vu du côté de la queue, *b* la vessie ovo-urinaire, *c* le vitellus dans lequel le poulet a formé une dépression; *dd* la membrane chalazifère prête à se rompre et contiguë à l'albumen; au-dessous est la membrane propre du vitellus; *f* vide rempli d'air et formé par la séparation des deux feuillets de la membrane de la coque. Le cinquième jour la vessie ovo-urinaire a beaucoup grossi et elle est devenue adhérente par son fond à la membrane propre du vitellus qui la recouvre. Les vaisseaux de la vessie ovo-urinaire ont pris de l'accroissement; ce développement de la vessie ovo-urinaire est encore plus grand le sixième jour: alors elle représente une poche aplatie, d'un pouce environ de diamètre, recouverte encore par la membrane propre du vitellus, et remplie d'un fluide légèrement jaunâtre et d'une saveur salée. La figure 3, pl. 23, représente l'œuf à cette époque; *a* est l'amnios, *b* la vessie ovo-urinaire, *c* le vitellus dont l'aréole occupe la moitié de la périphérie, *dd* la membrane propre du vitellus, qui bientôt n'emprisonnera plus la vessie ovo-urinaire. On remarque au centre de celle-ci un gros vaisseau qui semble être contenu dans son intérieur et qui se distribue à sa surface supérieure; ce fait paraît en contradiction avec l'observation faite les jours précédents, que les vaisseaux de la vessie ovo-urinaire sont contenus dans ses parois; mais un peu d'attention suffit pour

voir que cela continue d'avoir lieu. La vessie ovo-urinaire, peu après son apparition et encore fort étroite, est devenue adhérente par son fond à la membrane propre du vitellus qui l'emprisonne, ainsi qu'on vient de le voir : ses vaisseaux se trouvent par conséquent fixés par leur extrémité et tendus comme des cordes du col de cette vesicule à l'endroit de l'adhérence ; or la vessie ovo-urinaire en se développant rapidement par l'effet de la distension qu'opère en elle le fluide abondamment versé dans son intérieur, rencontre un obstacle à son extension dans ce vaisseau principal, sur lequel elle se ploie de manière à lui former une espèce de *mésentère*. La figure 8 donne une idée du mécanisme de cette plicature ; elle représente la vessie ovo-urinaire coupée transversalement; *a* est la coupe transversale du vaisseau qui se trouve placé au milieu de la vessie ovo-urinaire, au moyen de ce que celle-ci s'est ployée de manière à appliquer l'une contre l'autre les deux portions *a b*, *a c* de sa surface extérieure. Ces deux portions se collent et se confondent en une seule membrane qui reste extrêmement fine, tandis que l'enveloppe dont elle a cessé de faire partie, grossit progressivement. Je reviendrai sur cette disposition des vaisseaux qu'il importe d'étudier avec soin. Le septième jour de l'incubation, le développement toujours croissant de la vessie ovo-urinaire a rompu la membrane propre du vitellus, et cette poche, placée entre le vitellus et la membrane de la coque, continue à s'étendre en augmentant continuellement sa circonférence ; la membrane propre du vitellus, rompue par le développement de la vessie ovo-urinaire, n'est point comme la membrane chalazifère rejetée de dessus le vitellus ; elle continue à rester appliquée sur ce dernier et se confond par adhérence avec les membranes vasculaires qui lui deviennent contiguës. A la fin du huitième jour de l'incubation, la vessie ovo-urinaire est disposée comme on le voit dans la figure 4; *a* est le poulet renfermé dans l'amnios ; *bb* la vessie ovo-urinaire ; *c* le vitellus dont l'aréole est entièrement couverte par la vessie ovo-urinaire développée; les vaisseaux du vitellus qui forment cette aréole et qui antérieurement avaient servi à la respiration du poulet, ont donc cessé d'avoir cet usage dans lequel ils sont remplacés par le fond de la vessie ovo-urinaire qui est appliqué sur la membrane de la coque ; aussi ces vaisseaux du vitellus qui, jusque-là, avaient éprouvé un développement dont la rapidité répondait à l'importance de leurs fonctions, restent-ils pour ainsi dire stationnaires ; ils n'ont plus qu'un développement fort lent. A la fin du neuvième jour de l'incubation, la vessie ovo-urinaire, continuant toujours à se glisser entre la membrane de la coque et les substances que cette coque renferme, a recouvert l'albumen dans la partie supérieure de l'œuf et est arrivée à la chalaze du petit bout, dans l'endroit où celle-ci adhère à la membrane de la coque. Enfin le dixième jour on trouve tout le contenu de l'œuf, c'est-à-dire l'amnios renfermant le poulet, le vitellus et ce qui reste d'albumen, entièrement enveloppé par la vessie ovo-urinaire dont les extrémités, s'étant jointes par ce développement progressif et périphérique, s'unissent et se soudent pour toujours dans leur point de réunion : de sorte que l'œuf se trouve environné de deux membranes vasculaires qu'il ne possédait point au commencement de l'incubation. La jonction des extrémités de la vessie ovo-urinaire s'opère à l'endroit où est fixée la chalaze du petit bout, parce que cette chalaze, fortement adhérente à la membrane de la coque, arrête dans cet endroit le développement progressif de la vessie ovo-urinaire ; la chalaze du gros bout, s'étant au contraire détachée de la membrane de la coque dès les premiers jours de l'incubation, n'a pu opposer aucun obstacle au développement périphérique de cette poche urinaire. La figure 5 représente cet état de l'œuf à la fin du dixième jour : *a* est le poulet renfermé dans l'amnios ; *bb* la vessie ovo-urinaire dont les bords opposés se sont réunis au point *g*, que j'appellerai le *point de conjonction ; o* l'ouverture de l'ouraque, *c* est le vitellus dé-

primé par le fœtus, *h* ce qui reste d'albumen, *f* cavité remplie d'air.

Ainsi on voit que par l'effet de l'incubation, l'œuf a acquis deux enveloppes vasculaires, formées par la plicature de la vessie ovo-urinaire, qui s'est glissée entre l'albumen et la membrane de la coque, de manière à tapisser entièrement cette dernière intérieurement au moyen de son feuillet extérieur, tandis que son feuillet intérieur, reste appliqué sur l'albumen. Dans la première publication que j'ai faite de ce travail, j'ai désigné le feuillet extérieur de la vessie ovo-urinaire sous le nom de *chorion*, et son feuillet intérieur sous le nom de *membrane moyenne*. Mais comme la plupart des auteurs qui ont traité de l'embryologie ont donné le nom de *chorion* à des membranes fœtales différentes [1], il est devenu difficile d'employer ce nom de manière à être compris de tout le monde, parce que chacun y attacherait une idée différente. J'ai donc senti la nécessité de changer la nomenclature que j'avais d'abord adoptée. Je désignerai le feuillet intérieur de la vessie ovo-urinaire, celui qui revêt intérieurement la membrane de la coque, sous le nom d'*exo-chorion*, qui signifie chorion externe. Je désignerai le feuillet intérieur de la vessie ovo-urinaire, celui qui est appliqué sur l'albumen, sous le nom d'*endo-chorion*, qui signifie chorion interne. Ces deux enveloppes vasculaires que l'œuf a acquises par l'effet du développement périphérique de la vessie ovo-urinaire, ayant la même organisation et la même origine, doivent porter des noms qui indiquent leur analogie. C'est l'exo-chorion qui seul est chargé de la fonction importante de la respiration, et cela non en vertu de sa nature particulière qui est la même que celle de l'endo-chorion, mais en vertu de sa position puisqu'il est collé à la membrane de la coque. Aussi l'exo-chorion devient-il plus épais que l'endo-chorion; aussi est-il bien plus abondamment fourni de vaisseaux qui, dans l'un comme dans l'autre, appartiennent aux seuls vaisseaux ombilicaux. Ces deux enveloppes fœtales sont formées chacune de trois parties, c'est-à-dire d'un réseau vasculaire compris entre deux épidermes. Cette organisation n'est bien visible que dans l'exo-chorion, car l'extrême ténuité de l'endo-chorion ne permet point de le diviser.

C'est aussi vers le dixième jour que l'on commence à apercevoir le *sac herniaire* du vitellus. Ce sac herniaire est contigu dans une portion de sa surface à la partie ventrale de l'amnios auquel il adhère intimement; il correspond ensuite à l'endo-chorion auquel il devient également adhérent; il est en rapport dans le reste de son étendue avec l'albumen. Cependant il est plus exact de dire qu'il est séparé de l'endo-chorion et de l'albumen par la membrane propre du vitellus, à laquelle il est sous-jacent et avec laquelle il se confond par adhérence.

Ainsi qu'on vient de le voir, l'exo-chorion et l'endo-chorion enveloppent au dixième jour la totalité de l'œuf, c'est-à-dire l'amnios contenant le poulet, le vitellus avec

[1] Galien, premier auteur de la nomenclature des enveloppes du fœtus, donne le nom de *chorion* à l'enveloppe fœtale vasculaire la plus extérieure. Il a été suivi, à cet égard, par beaucoup d'anatomistes, entre autres par Stenon, Malpighi, Blumenbach et Tredern. MM. Emmert et Hochstetter désignent également par le nom de *chorion* la membrane vasculaire la plus extérieure dans les œufs des lézards. Quelques anatomistes modernes ont cru devoir donner le nom de *chorion* à une membrane sans vaisseaux. Ainsi G. Cuvier donne ce nom à la membrane de la coque de l'œuf des oiseaux. Lorsqu'il traite de l'œuf des mammifères, il donne le nom de *chorion* à une autre membrane sans vaisseaux, qui, d'après les recherches de Baer, se trouve être celle que l'ovule possédait dans l'ovaire, et qui est ainsi l'analogue de celle que je nomme chez l'oiseau *membrane propre du vitellus*. Baer veut qu'on ne donne à cette membrane le nom de *chorion* que lorsqu'elle est devenue pourvue des vaisseaux que lui fournit l'allantoïde, ignorant ainsi que cette membrane n'acquiert jamais de vaisseaux, mais qu'elle se confond par adhérence avec la membrane vasculaire qui est située au-dessous dans l'œuf des mammifères, et que je nomme *exo-chorion*. Au milieu de ce conflit des opinions des anatomistes, j'ai cru devoir demeurer attaché à la nomenclature établie par Galien, mais en lui faisant éprouver la légère modification que j'indique ici.

son sac herniaire, enfin ce qui reste d'albumen dans le petit bout de l'œuf. Cette dernière substance ne tarde pas à diminuer de volume, par l'absorption continuelle qui s'en opère; alors l'endo-chorion, qui est appliqué dessus, s'éloigne de l'exo-chorion qui reste collé sur la membrane de la coque; il en résulte que ces deux enveloppes fœtales cessent d'être continues; elles forment deux enveloppes très-distinctes, qui n'ont plus entre elles que des rapports vasculaires au *point de conjonction*, mais plus aucun rapport apparent de continuité.

Enfin l'albumen étant complétement absorbé à la fin du quinzième jour, l'endo-chorion se trouve appliqué et intimement collé sur le sac herniaire du vitellus, ayant au-dessous de lui, à l'endroit qui correspondait à l'insertion de la chalaze du petit bout, les débris chiffonnés de la membrane chalazifère qui revêtait primitivement le vitellus; tandis que l'exo-chorion est resté collé à la membrane de la coque. La fig. 6, pl. 25, représente ce nouvel état des membranes; *a* est le poulet contenu dans l'amnios : cette dernière membrane est intimement adhérente à l'endo-chorion partout où elle en est recouverte; *bb* la cavité de la vessie ovo-urinaire ou l'intervalle de l'exo-chorion et de l'endo-chorion; *o* l'ouverture de l'ouraque; *c* le vitellus se continuant par l'ombilic avec l'intestin grêle du poulet, ayant la même tunique péritonéale que lui, et contenu dans un sac herniaire qui se continue avec le péritoine de l'enveloppe abdominale. Ce sac, ainsi que je l'ai déjà dit, recouvre une portion de l'amnios et lui est intimement adhérent; dans le reste de son étendue il correspond à l'endo-chorion avec lequel il est pour ainsi dire confondu. Il n'y a d'intervalle entre ces deux dernières membranes qu'au point *d* où se trouve une petite cavité qui contient un corps très-blanc qui n'est autre chose que les débris chiffonnés de la membrane chalazifère dont s'est dépouillé le vitellus; il est facile de le déployer et de l'étendre dans l'eau. L'intervalle de l'exo-chorion et de l'endo-chorion se trouve, à cette époque, rempli d'une quantité considérable d'urine, reconnaissable pour telle à sa couleur blanchâtre, couleur qu'elle doit au carbonate calcaire qui la trouble et qui forme des sédiments assez épais. On sait que tel est le caractère de l'urine des oiseaux. Avant cette époque l'intervalle de ces deux enveloppes ne contenait qu'une quantité peu considérable d'un fluide semblable à celui observé les premiers jours; c'est alors que l'on découvre facilement l'ouraque, canal par lequel ce fluide urinaire a été transmis. On en trouve l'ouverture sur la surface externe de l'endo-chorion, après avoir enlevé l'exo-chorion; un petit stylet peut y être introduit, et pénètre sans difficulté jusque dans le cloaque du poulet, montrant ainsi l'ouverture opposée de l'ouraque qui est située derrière celle du rectum. Les jours suivants la quantité de l'urine contenue entre ces membranes diminue, par l'absorption de la partie la plus fluide, et bientôt on n'y trouve plus qu'une matière glaireuse remplie de craie et étendue quelquefois comme une membrane, sur la surface de l'endo-chorion; on pourrait prendre cette couche glaireuse pour une membrane organique, s'il n'était évident qu'elle doit son origine à la condensation des fluides muqueux sécrétés par la membrane muqueuse qui double intérieurement la vessie ovo-urinaire.

Les vaisseaux de la vessie ovo-urinaire sont ceux qui portent spécialement le nom d'*ombilicaux;* ceux qui se distribuent au vitellus ont, comme on sait, une origine très-différente.

Les vaisseaux de l'exo-chorion et de l'endo-chorion sont les mêmes, comme il est naturel de le penser, puisque ces deux membranes dérivent d'un seul et même organe, c'est-à-dire de la vessie ovo-urinaire. En faisant abstraction de leurs ramifications, pour ne considérer que les troncs, on trouve qu'ils se réduisent à une veine ombilicale et à deux artères ombilicales. La veine ombilicale, considérée comme partant de la veine cave, s'engage dans la scissure du foie, sans communiquer aucunement avec cet organe ni avec la veine porte, elle traverse l'ab-

domen et s'engage dans l'ouverture ombilicale; car, à proprement parler, il n'y a point de cordon ombilical. Immédiatement après sa sortie de l'ombilic elle se partage en deux branches : l'une gauche et l'autre droite, qui presque aussitôt se divisent en deux ratifications secondaires. Les deux ramifications de la branche gauche se portent directement à l'exo-chorion après avoir donné quelques petits rameaux à l'endo-chorion; les deux ramifications de la branche droite se recourbent au-dessus de l'amnios qu'elles embrassent, donnant beaucoup de rameaux à l'endo-chorion, et elles se terminent à l'exo-chorion. C'est dans l'angle que forment les deux branches primitives de la veine ombilicale, que se trouve l'ouverture de l'ouraque. Les deux artères ombilicales naissent des deux artères *iliaques primitives* que forme l'aorte abdominale par sa bifurcation; l'artère ombilicale gauche est si grosse, qu'elle paraît une continuation immédiate du tronc de l'aorte; elle traverse l'ombilic collée à l'ouraque, et accompagnant la branche gauche que forme la veine ombilicale par sa première bifurcation, elle se distribue comme elle presque entièrement à l'exo-chorion, ne donnant que de très-petits rameaux à l'endo-chorion. L'artère ombilicale droite est plus difficile à trouver; on l'aperçoit à peine, il faut des recherches pour la découvrir; on la voit naître de l'iliaque primitive droite, s'engager dans l'ombilic, collée de même à l'ouraque : au sortir de cette ouverture, suivre d'abord la branche droite de la veine ombilicale qu'elle abandonne à l'endroit de la seconde bifurcation, pour se distribuer entièrement à l'endo-chorion. La petitesse de cette artère est en rapport avec le peu de développement de la membrane à laquelle elle appartient tout entière.

C'est ici le lieu d'expliquer d'une manière plus claire que je ne l'ai fait plus haut, la manière dont ces vaisseaux se distribuent à l'exo-chorion et à l'endo-chorion. Ces deux membranes n'étant véritablement que le résultat de la *plicature sphérique* de la vessie ovo-urinaire, et les vaisseaux de cette vessie étant contenus dans ses parois, il semblerait que leurs troncs devraient suivre d'abord l'endo-chorion de *o* en *x* (figure 3), et là se réfléchir sur l'exo-chorion en remontant vers le point *g*, sommet de la vessie ovo-urinaire; mais il n'en est point ainsi. J'ai fait remarquer plus haut que le second jour de l'apparition de la vessie ovo-urinaire, son sommet adhère à la membrane propre du vitellus, membrane qui la recouvre ainsi que l'amnios à cette époque. Les vaisseaux qui s'étendent alors jusqu'au sommet de cette vessie, sont donc fixés par cette adhérence de manière à ne pouvoir la suivre dans son développement, car il faudrait pour cela que la portion de son étendue située entre l'origine des vaisseaux et le lieu de leur adhérence prît un excessif allongement que ne permet pas la texture des vaisseaux sanguins qui, comme on sait, se rompent plutôt que d'obéir aux tractions qui tendraient à les allonger. Il résulte de là que la vessie ovo-urinaire se développant sous l'impulsion du fluide qui provoque sa distension, se ploie sur ses vaisseaux fixés comme cela est représenté dans la figure 8, pl. 23, laquelle offre la coupe transversale de la vessie ovo-urinaire. Ainsi que je l'ai déjà expliqué plus haut, cette première plicature est faite sur l'assemblage de l'artère ombilicale gauche et de la bifurcation gauche de la veine ombilicale. Le lendemain, c'est-à-dire le septième jour de l'incubation, on observe une plicature semblable sur la bifurcation droite de cette veine accompagnée de l'artère ombilicale droite; la vessie ovo-urinaire est alors ployée comme on le voit dans la figure 9, qui représente la coupe transversale de cette vessie; *a b* sont les vaisseaux ombilicaux droits et gauches, les deux lames de la plicature *a d* sont confondues en une seule membrane; il en est de même des deux lames de la plicature *b c*; cela forme ainsi deux cloisons, ou plutôt une seule cloison interrompue dans l'intérieur de la vessie ovo-urinaire, comme on le voit dans la figure 7, qui représente la coupe verticale de la vessie ovo-urinaire selon le diamètre *d c* de la figure 9: *aa*, *bb* sont les

vaisseaux ombilicaux droits et gauches; *oo* les deux cloisons placées dans un même plan, et divisant l'espace compris entre l'exo-chorion et l'endo-chorion en deux cavités qui communiquent par l'intervalle ouvert *p*. Il résulte de cette disposition que les vaisseaux *aa*, *bb*, sans cesser d'être contenus dans les parois de la vessie ovo-urinaire, sont cependant renfermés dans l'espace qui sépare l'endo-chorion de l'exo-chorion; et que ce dernier reçoit ainsi des vaisseaux immédiatement, ce qui n'aurait pas lieu sans ce mécanisme particulier.

Je reviens actuellement au vitellus et aux vaisseaux que l'on a vus dès le commencement de l'incubation se répandre dans sa surface.

L'opinion de *Haller*, opinion généralement reçue, tend à faire considérer le vitellus comme n'étant originairement autre chose qu'un appendice de l'intestin du poulet, appendice dans lequel les vaisseaux existent originairement à l'état d'invisibilité et sont rendus visibles par le développement; ainsi, d'après cette opinion, le vitellus dans l'ovaire de la poule serait déjà, même avant la fécondation, un appendice de l'intestin du poulet. Les observations suivantes prouvent suffisamment que cette opinion n'est point admissible.

Si les vaisseaux du vitellus étaient originairement répandus dans la périphérie de cet organe, le développement qui les rend visibles se ferait d'une manière qui ne serait point exactement la même pour tous. On verrait au pourtour de l'aréole des hachures provenant de ce que quelques-uns de ces vaisseaux seraient débouchés et développés plus avant les uns que les autres : au contraire l'aréole est parfaitement circonscrite. Je me suis aidé dans cette recherche du secours du microscope, et je lui ai soumis la membrane du jaune dont les vaisseaux sanguins occupaient déjà la moitié de l'étendue. Les plus fortes lentilles ne m'ont fait voir aucune trace de vaisseaux au delà de l'aréole; or on ne manquerait pas de les y apercevoir, surtout aux bords de l'aréole, si leurs linéaments y préexistaient : on les verrait acquérir par degrés la grosseur nécessaire pour pouvoir admettre les globules sanguins. Tout tend donc à prouver qu'au delà de l'aréole, le vitellus n'est recouvert que par sa membrane propre; aussi cette dernière s'enlève-t-elle facilement de dessus l'aréole, tandis qu'on ne peut l'enlever au delà sans mettre à découvert la matière du vitellus.

Deux veines occupent tout le pourtour de l'aréole, dans les premiers jours de l'incubation; ces deux veines viennent se rendre dans deux troncs communs, et il résulte de leur réunion deux échancrures à l'aréole, comme on le voit dans la fig. 1, pl. 23, en *oo*. Ces deux troncs communs, qui sont situés du côté de la tête et de la queue du poulet, ne tardent pas à s'oblitérer : alors les deux échancrures de l'aréole disparaissent, et les deux veines de la circonférence n'en forment qu'une seule. A mesure que l'aréole s'augmente, on voit ce vaisseau concentrique s'avancer pour occuper toujours la circonférence de l'aréole; ainsi ce vaisseau se déplace; le cercle qu'il représente se dilate d'abord, et lorsqu'il a dépassé le milieu du globe du vitellus il va en se rétrécissant jusqu'à ce qu'étant arrivé dans ce rétrécissement progressif à la chalaze du petit bout de l'œuf, il s'y ferme comme l'ouverture d'une bourse; aussi existe-t-il presque toujours dans cet endroit un trou qui pénètre dans l'intérieur du vitellus, trou par lequel la matière du jaune se répand souvent en petite quantité dans l'albumen qui lui est contigu. Dans cet endroit on voit facilement la réflexion du sac herniaire du vitellus sur ce dernier, et l'on conçoit que dans ce mouvement d'enveloppement par lequel l'intestin a envahi le jaune, le sac herniaire a marché avec la membrane intestinale à laquelle il est lié organiquement. L'existence du trou que je viens d'indiquer est si certaine, que j'ai vu une fois une petite portion de l'albumen renfermée dans l'intérieur du vitellus; elle s'y était introduite par le trou que je viens de citer, et était renfermée dans une poche formée par la

membrane propre du vitellus. Cette poche était pincée fortement à son col par la membrane vasculaire du jaune qui s'était fermée sur elle de la même manière que se ferme une bourse. Ces faits prouvent que le jaune de l'œuf n'est originairement enveloppé que par sa membrane propre et que ce n'est que par le fait du développement et de la progression de la membrane vasculaire intestinale du poulet qu'il est enveloppé secondairement par cette membrane.

Ainsi l'embryon n'existe originairement que dans la cicatricule, et c'est de là qu'il envoie ses membranes vasculaires envelopper le vitellus et l'albumen, substances dans lesquelles il doit puiser les matériaux de sa nutrition.

Les vaisseaux du vitellus naissent, comme on le sait, des vaisseaux mésentériques; mais il est des vaisseaux qui ont échappé à tous les observateurs et qui ont la même origine : ce sont ceux du *sac herniaire du vitellus*. Ces vaisseaux sont d'une extrême petitesse; on ne les voit pas toujours, parce qu'ils ne sont pas toujours suffisamment remplis de sang; mais il est toujours permis d'apercevoir le ligament ou plutôt le repli péritonéal qui les contient. Il faut pour cela examiner l'œuf au quinzième ou seizième jour de l'incubation. A cette époque, le sac herniaire du vitellus tapisse extérieurement l'amnios dans une certaine étendue autour de l'ombilic, et, comme il est, pour ainsi dire, confondu avec cette membrane, on pourrait croire que leur assemblage est l'amnios tout seul, dont la face externe se continuerait ainsi avec le péritoine abdominal par l'ombilic; mais un observateur attentif évite facilement cette erreur. A l'époque que je viens d'indiquer, on aperçoit un repli péritonéal qui part du vitellus, près de l'insertion du pédicule qui l'unit à l'intestin et qui, tendu comme une corde, se porte à la partie du sac herniaire qui est adhérente à l'amnios. Avant d'avoir reconnu la disposition de ce sac, j'avais cru que ces vaisseaux, dont l'origine est mésentérique, appartenaient à l'*amnios*, ce qui me paraissait étrange; peut-être, cependant, n'est-il pas moins extraordinaire de voir le sac herniaire recevoir ces vaisseaux. A cette occasion je me permettrai quelques réflexions sur la nature de ce sac. Le péritoine concourt évidemment seul à sa formation; en effet, la peau du poulet se termine, ainsi que l'amnios, à l'ombilic; aucune extension de ces membranes n'enveloppe le vitellus, dont le sac herniaire se continue par l'ouverture ombilicale avec le péritoine de l'enveloppe abdominale. Au sommet du vitellus ce sac herniaire se continue avec le péritoine intestinal qui revêt cet appendice de l'intestin, ainsi que je l'ai dit plus haut.

Ces observations prouvent que le péritoine entier, même celui qui revêt intérieurement l'enveloppe abdominale, appartient originairement au *système intestinal*, et non à cette enveloppe abdominale, qui paraît ne le recouvrir et ne lui adhérer qu'après coup.

Dans les derniers jours de l'incubation, le vitellus est retiré dans l'intérieur de l'abdomen; alors on voit l'ouverture ombilicale s'élargir considérablement pour admettre cet appendice volumineux de l'intestin. Le sac herniaire, adhérant depuis longtemps à l'endo-chorion d'une manière indissoluble, reste au dehors et n'accompagne point le vitellus dans l'abdomen, dont l'ouverture se ferme lorsque la rentrée du vitellus est effectuée.

C'est, comme on le sait, vers le vingt-et-unième jour que le poulet brise sa coque et voit le jour; mais après cette époque il présente encore des phénomènes dignes d'être observés; pour cela, je remonte aux temps qui précèdent un peu cette époque. Si l'on ouvre le vitellus vers le dix-huitième ou dix-neuvième jour de l'incubation, on le trouve rempli d'une matière verdâtre et un peu glaireuse bien différente de l'émulsion qu'il contenait primitivement; cette matière, qui paraît excrémentitielle, remplit également une partie de l'intestin, dans la partie qui est inférieure au vitellus. On sait que ce dernier tient à l'intestin par un pédicule assez court; mais la petitesse des parties

ne permet point alors de voir si ce pédicule est creux, et s'il communique dans l'intestin comme on serait tenté de l'admettre; cette communication est très-visible deux jours après la naissance du poulet. Alors le vitellus est presque entièrement vide et fort contracté sur lui-même; alors on voit de la manière la plus distincte, que le pédicule qui l'unit à l'intestin grêle est creux, et qu'il se vide par ce canal de la matière excrémentitielle qu'il contient.

Enfin, un fait important, sur lequel j'appellerai l'attention des anatomistes, est l'existence de la *vessie urinaire* chez le poulet. Si vers le dix-neuvième jour de l'incubation on injecte du mercure par l'ouverture extérieure de l'ouraque, et qu'après avoir fait une ligature à cette ouverture on ouvre l'abdomen du poulet, on aperçoit la vessie distendue par le mercure et située à gauche du rectum; cette position lui est donnée par la prédomination de l'artère ombilicale gauche qui lui est collée et qui l'entraine de ce côté. Cette poche est encore plus visible après la naissance du poulet; alors il n'y a plus besoin d'injection pour l'apercevoir. Le second jour après la naissance, je l'ai trouvée située derrière le rectum; sa forme était ovoïde; de son sommet partait le canal oblitéré de l'ouraque; elle s'ouvrait par un col assez étroit dans le cloaque derrière l'ouverture du rectum, et recevait près de son col l'insertion des deux uretères. Son intérieur présentait des *colonnes charnues*, ou plutôt des replis de la membrane muqueuse, qui s'étendaient parallèlement du col au sommet de la vessie, où ils convergeaient. La vessie du poulet ressemble donc tout à fait à la vessie des mammifères; elle n'en diffère que par ce seul point que, au lieu d'être placée devant le rectum, elle se trouve placée derrière lui; mais, cette position de la vessie chez le poulet n'est point congéniale; elle est due à la torsion que subit le cloaque auquel s'insère le col de la vessie. Cette torsion, qui provient de la prédomination de l'artère ombilicale gauche et de l'excès de développement qu'elle produit de ce côté, place entre le rectum et le sacrum, la vessie qui avait dans le principe une position opposée par rapport au rectum, ainsi que cela a lieu chez les mammifères.

Ces observations offrent un commencement de preuves de cette vérité, peut-être trop méconnue, que chez les êtres vivants il ne faut point conclure de ce qui existe à ce qui a précédemment existé. Il paraissait naturel, en admettant la préexistence de l'embryon à l'incubation, d'admettre également la préexistence de ses enveloppes : *Haller* fondait même sur la préexistence du jaune à la fécondation, l'opinion de la préexistence du poulet dont l'intestin aurait enveloppé le vitellus dès l'apparition de celui-ci dans l'ovaire de la poule. Or, mes observations prouvent le contraire, puisqu'on a vu les enveloppes vasculaires de l'œuf se *former* par le développement périphérique de la vessie ovo-urinaire, et l'enveloppe vasculaire du vitellus se former par un semblable développement de l'intestin. L'amnios seul enveloppe originairement l'embryon; il est pour ainsi dire sa première peau. On a vu les deux artères ombilicales naître des artères iliaques primitives; ce fait atteste leur identité avec les artères ombilicales des fœtus des mammifères, artères qui, comme on sait, ont la même origine. Par conséquent, les enveloppes fœtales vasculaires auxquelles se distribuent les artères ombilicales chez les fœtus des mammifères, sont les analogues de l'exochorion et de l'endo-chorion du fœtus des oiseaux. Or, ces enveloppes fœtales étant engendrées chez les oiseaux par une extension et par une plicature de la vessie ovo-urinaire qui est elle-même une extension de la vessie, il en résulte, par une analogie incontestable, que les enveloppes fœtales vasculaires qui reçoivent les artères ombilicales chez les fœtus des mammifères, sont également des appendices de la vessie du fœtus, et que les artères ombilicales sont des artères vésicales. Je reviendrai plus bas sur les preuves de cette vérité.

Les deux modes successifs de respira-

tion que présente le fœtus des oiseaux est un phénomène qui mérite une attention spéciale. La respiration du poulet s'opère dans les premiers temps par les vaisseaux mésentériques du vitellus; ensuite elle s'opère par les vaisseaux vésicaux de la vessie ovo-urinaire. Ainsi ce ne sont point des organes spécialement destinés à cette fonction importante qui en sont chargés. Les organes qui l'exercent ne remplissent ce rôle que d'une manière provisoire et pour ainsi dire *accidentelle*, en attendant que les organes respiratoires proprement dits puissent exercer leurs fonctions.

La vessie, en s'élançant hors de l'abdomen pour enveloper extérieurement l'amnios, se trouve entièrement à nu; elle est dépourvue de toute enveloppe extérieure, de tout *sac herniaire;* il n'en est pas de même du vitellus qui possède, comme on l'a vu, un sac herniaire fait aux dépens du péritoine costal et qui en est la continuation; ce sac herniaire reçoit des vaisseaux mésentériques, ce qui prouve qu'il appartient au système intestinal : or, comme il n'est que la continuation du péritoine qui revêt intérieurement l'enveloppe abdominale, il en résulte que le péritoine tout entier appartient originairement au système intestinal. D'un autre côté, l'observation fait voir dans le poulet une fente longitudinale située sur la ligne médiane ventrale; fente qui résulte de ce que la partie droite de l'enveloppe abdominale n'est point réunie à la partie gauche de cette enveloppe. On pourrait supposer que cette fente n'est qu'apparente et qu'elle provient de ce que l'enveloppe abdominale, quoique primitivement existante, s'épaissit en dernier lieu sur la ligne médiane, de sorte qu'avant cet épaississement qui la rend visible, elle paraît ne point exister; mais cette supposition tombe d'elle-même par l'observation du fait que la vessie ovo-urinaire, qui n'est autre chose que la vessie proprement dite, s'élance hors de l'abdomen par cette fente sans entraîner d'enveloppe extérieure. Ce fait prouve en effet que, lors du développement de cette vessie, l'enveloppe abdominale n'existe pas encore d'une manière complète. Il me paraît donc démontré, par cet ensemble de faits, que l'enveloppe abdominale naît de chaque côté de la colonne vertébrale et se développe par une sorte de végétation, de manière à ce que les deux parties opposées viennent se réunir et s'affronter sur la ligne médiane ventrale, accompagnées de l'amnios qui se termine sur leurs bords. Dans ce mouvement elles enveloppent le péritoine primitivement existant, et que je considère comme l'*amnios* du canal alimentaire, lequel n'avait point d'autre enveloppe primitive; l'enveloppe abdominale devient adhérente au péritoine qu'elle recouvre, de la même manière que l'endo-chorion devient adhérent à l'amnios qu'il enveloppe. Les deux parties opposées de l'enveloppe abdominale trouvant, lors de leur réunion, la vessie déjà considérablement développée, l'étranglent dans la partie à laquelle elles correspondent, c'est-à-dire à l'ombilic; elles étranglent de même le sac péritonéal du vitellus. Ces faits méritent toute l'attention des physiologistes, puisqu'ils indiquent une véritable *formation* dans les animaux; cependant je dois faire observer ici que, par le mot de *formation*, je n'entends pas une véritable *création*, mais seulement un *développement formateur* qui, de la forme la plus simple, peut amener les animaux à la forme définitive qu'ils possèdent.

Avant moi, Haller avait vu que l'exochorion, qu'il nomme improprement *membrane ombilicale*, est une expansion de la vessie; mais il n'est point entré dans le détail du développement que subit cette poche urinaire pour envelopper l'œuf d'une double coiffe. Aussi cette assertion de Haller, dépourvue de preuves, n'avait-elle point attiré l'attention des anatomistes.

SECTION II.

Recherches sur l'œuf des reptiles ophidiens et sauriens.

Les œufs des serpents paraissent dans les ovaires un an environ avant qu'ils s'en détachent. Lorsque ces reptiles viennent de faire leur ponte, on voit dans leurs

ovaires de petits œufs qui sont ceux de l'année suivante. La disposition des œufs dans les ovaires, méritant d'être remarquée, je donnerai ici la description sommaire de ces derniers organes, dont la structure est la même chez les vipères et chez les couleuvres.

Les ovaires des serpents sont étendus des deux côtés de la colonne vertébrale; ils ressemblent, au premier coup d'œil, à deux ligaments étendus en ligne droite, et les œufs qui y sont fixés, à des distances assez rapprochées, leur donnent l'apparence de chapelets; mais en examinant ces ovaires avec attention, on s'aperçoit que ces deux ligaments sont véritablement deux tubes dans lesquels les œufs sont contenus et fixés de manière à ne pouvoir ni avancer ni reculer dans leur intérieur. Ces tubes, gonflés par l'insufflation, laissent apercevoir que les œufs renfermés dans leur intérieur sont contenus dans l'épaisseur même des parois du tube, parois qui forment ainsi une capsule à chacun d'eux : ils sont placés dans la partie de ce tube opposée à celle qui reçoit les vaisseaux sanguins. D'abord fort petits, ces œufs font également saillie en dedans et en dehors du tube gonflé par l'insufflation; mais à mesure qu'ils deviennent plus gros, leur saillie se prononce de plus en plus en dedans, de sorte qu'ils parviennent à remplir tout le diamètre du tube auquel leurs capsules n'adhèrent que par un de leurs côtés. Ces œufs, d'une extrême petitesse dans les premiers temps de leur apparition, grossissent insensiblement, et le tube qui les contient s'élargit à mesure, mais seulement sur les œufs, car dans leur intervalle il conserve un très-petit diamètre.

Œufs des couleuvres.

J'ai observé, dans la Touraine, trois espèces de couleuvres :

1° La couleuvre à collier (*coluber natrix*);

2° La couleuvre vipérine (*coluber viperinus*, Latreille);

3° La couleuvre lisse (*coluber austriacus*).

Les œufs de ces couleuvres ne diffèrent que par l'épaisseur plus ou moins grande de la coque.

C'est vers la mi-juillet que la couleuvre à collier et la couleuvre vipérine pondent leurs œufs; et c'est dans le courant des mois de mai et de juin que tous les serpents s'accouplent; ainsi il s'écoule un certain temps entre la fécondation des œufs et leur ponte. Je négligeai de chercher à me procurer des couleuvres, pendant la plus grande partie de cet intervalle de temps, parce que j'ignorais de quelle importance il était d'observer alors les œufs renfermés dans leur corps. J'eus cependant une couleuvre vipérine le 22 juin; les oviductes contenaient quatre œufs assez maltraités, qui ne me permirent de rien observer. La première dont je pus facilement observer l'œuf, était de la même espèce, et me fut apportée le 2 juillet; ses oviductes contenaient dix œufs : il y en avait six dans le droit et quatre dans le gauche; ces œufs avaient plus d'un pouce de long et six à huit lignes de large; ils étaient mous et de couleur blanche; les ayant ouverts et disséqués avec soin, je leur trouvai les enveloppes suivantes :

1° Une membrane extérieure d'un blanc opaque et assez dense;

2° Une seconde membrane de même nature, mais moins épaisse que la première, à laquelle elle était unie par de la cellulosité. L'assemblage de ces deux membranes formait la coque de l'œuf;

3° Une membrane très-vasculaire formant une aréole peu étendue;

4° Le vitellus contenant dans une dépression profonde un petit serpent contenu dans son amnios et contourné en spirale conique. Le sommet de cette spirale, tourné en bas, était formé par la queue; du voisinage de l'anus partait le cordon ombilical qui, traversant l'axe de la spirale, venait apporter les vaisseaux qu'il contenait, au vitellus et à la membrane n° 3, qui offrait évidemment les rudiments de l'exo-chorion. Cependant je ne pus apercevoir l'endo-chorion que je pensais devoir être située au-dessous.

Au delà de l'aréole, on détachait du vitellus une membrane très-fine; le fœtus était long de six lignes et totalement transparent. On voyait les yeux, et le cerveau paraissait comme une vésicule. On distinguait le cœur et un vaisseau qui suivait toute la longueur du corps; il n'y avait point du tout d'albumen; la matière du vitellus n'était point miscible à l'eau, elle s'y suspendait en flocons blanchâtres et filamenteux. Ayant fait durcir un de ces œufs dans l'eau bouillante, il se prit en une seule masse blanchâtre, dont la coupe était grenue, comme l'est celle du jaune d'œuf de poule durci; ayant exposé à la chaleur d'un four ce vitellus, préalablement durci par l'eau bouillante, il en est sorti de l'huile que la compression a fait sortir encore plus abondamment. Ainsi, nul doute que la matière qui remplit le vitellus de la couleuvre en question, ne soit fort analogue à l'émulsion qui constitue le jaune de l'œuf des oiseaux, quoiqu'elle en diffère par son défaut de miscibilité à l'eau. Cette observation m'ayant appris que les fœtus de la couleuvre vipérine subissent leur premier développement dans l'oviducte, je pensai qu'il pouvait bien en être de même des autres couleuvres. Je mis tous mes soins à m'en procurer; mais parmi celles qu'on m'apporta, il ne se trouva de femelles qu'une seule que je reçus le 15 juillet, treize jours après ma première observation; on me l'apporta avec une couleuvre à collier, femelle, la première que j'eusse observée de l'année, et qui avait également des œufs dans ses oviductes.

La couleuvre vipérine avait six œufs dans l'oviductus droit et un seul dans le gauche; probablement elle avait commencé sa ponte. Je trouvai à ces œufs les deux membranes de la coque observées ci-dessus; au-dessous je trouvai l'exo-chorion ne couvrant pas la moitié du vitellus. Au-dessous de cette membrane était un fluide visqueux et filant; au-dessous de ce fluide était l'endo-chorion qui se continuait évidemment avec l'exo-chorion à la circonférence de ce dernier, comme cela a lieu pour la vessie ovo-urinaire du poulet. Le fluide filant, contenu dans cette poche, était par conséquent le fluide vésical, et non de l'*albumen*, comme il eût été possible de le croire.

Le petit serpent, long d'un pouce environ et contourné en spirale conique, était contenu dans l'amnios, qui lui-même était entièrement enfoncé dans une dépression du vitellus; sa tête était fort grosse relativement à son corps; sa mâchoire inférieure était beaucoup plus courte que la supérieure; ses yeux étaient développés; le cerveau formait une bosse sur la tête, comme cela a lieu chez le poulet dans les premiers jours de l'incubation; on voyait la double distribution des vaisseaux à la vessie ovo-urinaire et au vitellus, mais on ne distinguait point l'origine de ces vaisseaux.

L'œuf de la couleuvre à collier m'offrit exactement la même chose à observer, excepté que l'aréole n'était point aussi étendue, ni le fœtus si développé. Même division de la coque en deux membranes, même nature de la substance du vitellus, même absence de l'albumen, même disposition du fœtus. Ainsi je ne m'arrêterai point à le décrire : on peut voir, figure 1, pl. 24, la coupe, selon le grand axe de l'œuf de ces deux couleuvres, tel qu'il est à l'époque que je viens d'indiquer. Cette figure est amplifiée : *a*, fœtus enveloppé dans l'amnios et logé dans une dépression du vitellus *c*; *b*, cavité de la vessie ovo-urinaire : *d*, vaisseaux du vitellus.

Le dix-huit juillet, je reçus une ample provision d'œufs de couleuvre qui avaient été trouvés dans du fumier. Plusieurs couleuvres à collier trouvées auprès, indiquèrent que ces œufs leur appartenaient; ils devaient être très-récemment pondus, puisque trois jours auparavant j'avais trouvé les œufs de cette espèce de couleuvre dans les oviductes. Je les ouvris, et je trouvai le fœtus et ses enveloppes dans le même état de développement que j'avais précédemment observé; seulement les feuillets de la coque étaient devenus adhérents et inséparables; ils ne formaient plus qu'une seule enveloppe. Je mis ces œufs dans un pot à fleurs que je remplis

de fumier et que j'établis sur ma fenêtre; je suivis chaque jour le développement du fœtus dans ces œufs; mais bientôt je vis l'inutilité de ces recherches assidues; plusieurs jours d'intervalle ne me montraient aucune différence dans le développement du fœtus, développement que je vis ainsi devoir être d'une extrême lenteur. Le trente juillet, le fœtus s'était un peu accru, l'exo-chorion et l'endo-chorion enveloppaient les trois quarts de la périphérie du vitellus. Le huit août, cet enveloppement était complet et l'œuf se présentait comme on le voit dans la fig. 2, pl. 24 : *a*, est le fœtus enveloppé dans l'amnios; *bb*, la cavité de la vessie ovo-urinaire ; *c*, le vitellus; *d*, les vaisseaux du vitellus; *g*, le point de conjonction. L'exo-chorion tapissait entièrement l'intérieur de la coque de l'œuf, tandis que l'endo-chorion restait appliqué sur le vitellus. L'intervalle de ces deux membranes était rempli par un fluide incolore et filant qui était évidemment le fluide vésical. Le fœtus, qui ne formait plus une spirale aussi régulière que dans le principe, était long de deux pouces et demi, et son développement me permit de voir la distribution et l'origine des vaisseaux ombilicaux. La veine ombilicale se bifurquait à sa sortie du cordon; l'une des bifurcations allait à l'exo-chorion et l'autre à l'endo-chorion; quant à la terminaison de cette veine du côté du cœur, je vis que, sortie du cordon, elle suivait la ligne médiane ventrale du fœtus, et qu'arrivée au foie elle en suivait la longueur pour aller aboutir au cœur; je ne sais point si elle communiquait ou non avec le foie ou avec la veine porte. Les artères ombilicales étaient au nombre de deux: je les vis se distribuer, l'une à l'exo-chorion et l'autre à l'endo-chorion, accompagnant les deux divisions primitives de la veine cave. Je les suivis vers leur origine jusqu'aux environs de l'anus sans pouvoir arriver jusqu'à l'endroit où elles naissent de l'aorte. Les vaisseaux du vitellus formaient un petit cordon à part au milieu du cordon ombilical. Je les vis naître des mêmes vaisseaux qui se distribuent au canal intestinal et cela un peu au-dessus du foie. En examinant ce petit cordon à la loupe, j'y distinguai deux vaisseaux qui sont indubitablement une artère et une veine; ils étaient enveloppés dans une gaîne péritonéale. J'aperçus en outre dans le cordon ombilical un petit canal à parois demi-transparentes, que je soupçonne être l'ouraque.

Je note ici pour la première fois l'existence de deux organes que j'avais observés déjà un mois auparavant chez les fœtus de la couleuvre lisse et chez ceux de la vipère, ainsi que je le dirai plus bas; ce sont deux appendices bilobés qui sortent de l'anus. Ces appendices avaient une ligne et demie de longueur. Composés d'un pédicule mince et d'un renflement divisé en deux lobes cylindriques, ils étaient pénétrés de vaisseaux sanguins. Ayant observé qu'il y avait à peu près autant de fœtus qui étaient dépourvus de ces appendices qu'il y en avait qui les possédaient, quoique le développement de ces fœtus fût égal, je ne doutai plus que ces appendices ne fussent des organes sexuels, et je reconnus en eux les deux verges dont sont pourvus les serpents mâles. Les deux lobes cylindriques qu'offraient chacun de ces appendices n'étaient évidemment que les deux corps caverneux séparés par un sillon profond. Ainsi les deux sexes sont très-faciles à reconnaître chez les fœtus des serpents, puisque les verges des mâles sont situées hors de leur corps, et que leur volume proportionnel est plus considérable qu'il ne le sera dans la suite. A partir de cette observation, il ne me fut plus permis de rien ajouter à l'histoire du développement du fœtus de la couleuvre. Mes œufs, apparemment exposés à une trop forte température (le pot qui les contenait était exposé à l'action du soleil pendant une grande partie de la journée); mes œufs, dis-je, commencèrent à se rider et à diminuer de volume; et quoique j'eusse pris la précaution de les remettre à l'ombre, ils n'en continuèrent pas moins à se dessécher; alors je trouvai beaucoup de fœtus morts dans l'œuf. Les derniers œufs qui

me restèrent, et que j'ouvris au commencement de septembre, étaient fort ridés et ne m'offrirent rien à observer que je n'eusse vu précédemment; ainsi je ne pus conduire cette observation jusqu'à sa fin.

OEufs de la couleuvre lisse.

Cette couleuvre offre, selon son âge, des variétés qui pourraient en imposer, en faisant croire que ces individus d'âge différent appartiennent à des espèces différentes. Uniformément grise dans sa jeunesse, elle acquiert ensuite des écailles ventrales de couleur de feu; peu à peu cette couleur et la teinte grise du dos se changent en une couleur rousse uniforme. J'ai été à même d'observer ces diverses gradations sur les individus nombreux que j'ai eus à ma disposition.

L'accouplement de cette espèce de couleuvre a lieu probablement beaucoup plus tôt que celui des deux autres espèces de couleuvres que je viens d'étudier; car à la même époque on trouve leurs fœtus beaucoup plus avancés. La première femelle dont j'aie observé les œufs me fut apportée le dix juillet; ses oviductes contenaient six œufs, il y en avait quatre dans le droit et deux dans le gauche. Les parois de l'oviducte et celles de l'œuf étaient tellement transparentes qu'on voyait le fœtus au travers. Ces œufs tenaient les uns aux autres par un fil délié qui adhérait à chaque bout de leur coque mince et fort transparente; ils formaient ainsi une espèce de chapelet. Ayant enlevé la coque, je mis à découvert une membrane très-vasculaire assez étendue et ayant au-dessous d'elle une liqueur filante qui reposait sur une autre membrane vasculaire. Des vaisseaux se portaient de la dernière de ces membranes à la première; je les reconnus pour être l'exo-chorion et l'endo-chorion. Le vitellus avait ses vaisseaux très-distincts de ceux de la vessie ovo-urinaire. Le fœtus enveloppé dans l'amnios était logé dans une dépression du vitellus; il était contourné en spirale conique, dont l'axe était traversé par des vaisseaux ombilicaux. Les fœtus étaient de différentes grandeurs; ceux qui étaient les plus voisins de l'orifice extérieur de l'oviducte étaient les plus développés, ils avaient un pouce neuf lignes de longueur.

Je n'eus occasion d'observer de nouveau l'œuf de cette couleuvre qu'au vingt-six juillet suivant; dans l'intervalle on m'apporta plusieurs couleuvres de cette espèce; mais, ou bien elles étaient mâles, ou bien elles étaient tellement maltraitées qu'on ne pouvait rien observer chez elles. A l'époque que je viens de citer, j'en reçus une dont l'abdomen était totalement intact et dont chaque oviducte contenait quatre œufs; ces œufs n'étaient plus unis par des cordons, comme dans l'observation précédente, la coque avait pris un peu plus d'épaisseur; elle était cependant encore transparente. L'exo-chorion tapissait tout l'intérieur de la coque; l'endo-chorion était collé sur l'ensemble de l'amnios et du vitellus, l'intervalle de ces deux membranes rempli d'un fluide diaphane. Les fœtus encore roulés en spirale avaient déjà deux pouces et demi de long; ainsi leur développement était beaucoup plus avancé que celui des autres couleuvres à la même époque. Il me fut possible de suivre les vaisseaux ombilicaux. Je vis la veine ombilicale distribuer ses deux branches primitives, l'une à l'exo-chorion et l'autre à l'endo-chorion, et, par son extrémité opposée, se porter directement vers le cœur; je vis les deux artères ombilicales venir de la région de l'anus et s'introduire dans le cordon; mais je ne suivis que celle qui se rend à l'exo-chorion, l'autre échappa à ma vue; je vis l'artère et la veine du vitellus descendre dans l'abdomen, en formant un seul faisceau qui s'introduisait dans le cordon ombilical; en un mot, à l'exception de la terminaison de la seconde artère ombilicale, je vis alors tout ce que j'ai vu depuis dans l'œuf et chez le fœtus de la couleuvre à collier, dont j'ai rapporté l'observation plus haut, quoiqu'elle fût postérieure à celle-ci. J'observai de même ici l'existence des deux appendices bilobés qui sortent de l'anus.

OEufs de vipère.

J'ai rencontré dans mes observations deux espèces de vipères : l'une, de couleur grise, est la vipère ordinaire (*coluber berus*); l'autre, de couleur rousse, ne diffère de la première que par ce seul caractère; or comme cette différence de couleur peut provenir de l'âge, je penche fortement à considérer ces deux variétés comme appartenant à la même espèce, à celle de la vipère ordinaire; quoi qu'il en soit, j'aurai soin de noter dans mes observations les variétés qui les ont fournies.

Le 26 mai on m'apporta une vipère femelle de la variété rousse; son abdomen était très-volumineux ; l'ayant ouverte, je trouvai dans les ovaires une assez grande quantité d'œufs parmi lesquels il y en avait neuf qui étaient voisins de l'époque à laquelle ils se détachent de l'ovaire; trois de ces œufs avaient quinze lignes de long sur huit de large. Les six autres avaient des dimensions de près de moitié moindres; ils étaient contenus dans le tube qui constitue l'ovaire des serpents. Ce tube était très-garni de vaisseaux sanguins, et les œufs ne lui adhéraient que très-faiblement; ceux-ci étaient de véritables vitellus munis d'une cicatricule blanche située sur l'un des côtés de l'œuf à égale distance de ses deux bouts. Cette cicatricule avait au milieu un point transparent; je l'ai soumise au microscope et n'y ai point aperçu les rudiments du petit reptile. La matière du vitellus, un peu épaisse, m'a paru en tout semblable à celle du jaune de l'œuf des oiseaux; comme cette dernière, elle se mêlait facilement à l'eau et formait avec elle une véritable émulsion, les oviductes étaient vides.

Le 31 mai, j'eus une vipère femelle de la variété grise, dans les oviductes de laquelle je trouvai cinq œufs, trois dans l'oviducte gauche et deux dans l'oviducte droit; leur cicatricule était entourée d'une aréole de deux lignes et demie de diamètre et blanchâtre; il n'y avait encore aucune apparence de l'embryon.

Je ne reçus plus aucune vipère femelle jusqu'au vingt-six juillet, qu'on m'en apporta une de la variété rousse. Je trouvai dans chaque oviducte quatre œufs en plein développement; ces œufs tenaient les uns aux autres par un fil délié, et formaient un chapelet comme ceux de la couleuvre lisse, auxquels ils ressemblaient d'ailleurs tellement, que je ne puis que renvoyer sur ce point à la description que j'en ai donnée. Ils en différaient cependant en cela que la coque de l'œuf de la couleuvre lisse, quoique transparente, avait une certaine épaisseur, tandis que la coque de l'œuf de la vipère était d'une extrême ténuité; elle ressemblait à un épiderme très-fin. Les fœtus avaient trois pouces de long, et me montrèrent, dans leurs vaisseaux ombilicaux, des dispositions exactement semblables à celles décrites plus haut pour les couleuvres. Ceux que j'observai avaient à l'anus les deux appendices bilobés qu'on a vu plus haut être les deux verges du mâle.

Ces observations sont les seules qu'il m'ait été permis de faire sur l'œuf de la vipère jusqu'au mois d'octobre. Dans le mois d'août on m'apporta bien quelques-uns de ces reptiles; mais ils étaient si maltraités qu'ils ne me permirent aucune observation. Le 9 octobre, on m'apporta une vipère femelle de la variété rousse qui avait trois fœtus dans ses oviductus; deux se trouvaient dans l'oviducte droit et un seul dans le gauche. Les deux premiers avaient leur vitellus; le second en paraissait dépourvu ; ceci se voyait facilement au travers des parois de l'oviducte. Ayant ouvert ce dernier avec précaution, je mis à découvert les fœtus enveloppés chacun d'une poche vasculaire exactement semblable à celle que possèdent les fœtus des oiseaux; la *membrane de la coque* avait disparu, rompue probablement par le développement considérable du fœtus qui formait une masse allongée de deux pouces et demi de long; je trouvai un lambeau de cette *membrane de la coque*, chiffonné et en paquet, placé dans l'intervalle qui séparait les deux fœtus contigus que contenait l'oviducte droit; ainsi l'exo-chorion était à nu dans toute

son étendue et en contact immédiat avec les parois de l'oviducte auquel il était agglutiné en divers points. Dans une observation semblable faite deux années auparavant j'avais cru voir que le fœtus de la vipère possédait un placenta adhérent aux parois de l'oviducte, semblable en cela au fœtus des mammifères; mais cette observation était inexacte jusqu'à un certain point. Le fait se réduit à ceci que, par la disparition de la membrane de la coque, l'exo-chorion se trouve en contact immédiat avec l'oviducte auquel il s'agglutine. Mais dans ces points d'agglutination l'exo-chorion n'est pas plus épais que dans le reste de son étendue, en sorte qu'il n'y a aucune apparence de placenta. Cependant on ne peut douter que l'exo-chorion dénudé ne puise, dans les parois de l'oviducte, une partie des fluides nécessaires à la nutrition du fœtus. Au-dessous de l'exo-chorion je trouvai l'endo-chorion qui en était séparé par une petite quantité de fluide glaireux; cette dernière membrane était tellement adhérente à l'amnios qu'on ne pouvait l'en distinguer. Le cordon ombilical n'était point placé exactement de même chez ces fœtus; chez l'un d'eux il était placé après la dix-septième plaque ventrale en les comptant depuis l'anus : un autre me l'offrit après la vingt-deuxième; il me fut alors permis de voir distinctement l'origine et la terminaison des vaisseaux ombilicaux dans le corps du fœtus. La veine ombilicale, sortie du cordon, remontait le long de la ligne médiane ventrale placée entre le péritoine et les parois abdominales ; dans son trajet elle recevait quelques rameaux venant de ces parois; parvenue à la hauteur du foie, elle s'inclinait vers cet organe dont elle croisait la direction à angle aigu, et remontant le long de son bord droit, elle venait aboutir à la veine cave dans laquelle elle se jetait tout près du cœur; ainsi elle n'avait aucune communication ni avec le foie, ni avec la veine porte.

Les deux artères ombilicales naissent de l'aorte, près de l'anus. Nées l'une à droite et l'autre à gauche de cette artère, et presque vis-à-vis l'une de l'autre, elles remontent vers le cordon ombilical, où elles s'engagent. J'ai décrit plus haut la terminaison de ces vaisseaux dans les membranes de l'œuf.

Les vaisseaux du vitellus étaient au nombre de deux, une artère et une veine; ils appartenaient évidemment aux vaisseaux mésentériques.

Le fœtus qui était contenu dans l'oviducte gauche était le plus gros; il avait six pouces et demi de long, et manquait de vitellus. Je l'ouvris, et ne fus pas médiocrement surpris de trouver ce vitellus tout entier dans son abdomen, et remonté bien plus haut que l'ombilic. Il tenait à l'intestin grêle par un cordon d'une certaine longueur, auquel étaient joints les vaisseaux qui se portaient dans sa substance. Je reconnus dans ce cordon celui de même longueur qui traversait *le* cordon ombilical des fœtus moins avancés, dont le vitellus était encore au-dehors, et je le reconnus pour être lui-même une branche de l'intestin grêle, dont le vitellus n'était lui-même qu'un appendice; son insertion n'était pas très-éloignée de l'estomac; ce vitellus, comme celui des *deux* autres fœtus, ne contenait plus de matière émulsive; mais il était rempli par une grande quantité de lames parallèles et semblables à de la dentelle, qui adhéraient par un de leurs bords à la face interne du vitellus, qui étaient libres et flottantes par l'autre bord. Ces lames de couleur blanchâtre étaient si nombreuses qu'elles donnaient au vitellus un volume qui n'était guère moindre que la moitié de celui qu'il possédait primitivement. J'avoue que j'ai peine à concevoir quelle est la force qui peut faire entrer une masse pareille dans l'abdomen du petit serpent, au travers d'un cordon ombilical qui n'a pas une ligne de diamètre. Il faut que cette ouverture s'élargisse spontanément, comme cela a lieu dans la même circonstance chez le poulet. Il résulte de ces observations : que l'œuf de la vipère est primitivement enveloppé par une *membrane de la coque,* à l'abri de laquelle se forme le *ploiement* ou le *développement*

sphérique de la vessie ovo-urinaire; et que, par suite du développement du fœtus et de la faiblesse de cette *membrane de la coque*, cette dernière est rompue et ses lambeaux rejetés de dessus l'exo-chorion qui se trouve à nu dans l'oviducte : on voit encore par ces observations que la gestation de la vipère est d'environ quatre mois. J'ai vu en effet des œufs dans les oviductes le 31 mai; et ils y étaient très-récemment, puisque chez une vipère, observée le 26 mai, ces œufs étaient encore dans les ovaires. Le 9 octobre, j'ai observé une vipère prête à mettre bas, et qui probablement avait déjà donné le jour à quelques-uns de ses petits; cela donne un peu plus de quatre mois pour le temps de la gestation.

OEufs d'orvet (anguis fragilis).

Le 25 juillet, j'ai ouvert un orvet femelle, et j'ai trouvé deux œufs dans chacun de ses oviductes. Ces œufs avaient une coque blanche et molle, au-dessous de laquelle j'ai trouvé l'exo-chorion qui lui-même recouvrait l'endo-chorion; leur ensemble enveloppait le vitellus et l'amnios. Le fœtus contenu dans ce dernier, et contourné en spirale conique, était placé sur le vitellus aplati et non enfoncé dans une dépression de ce dernier, comme cela a lieu chez les serpents; la base de la spirale conique, c'est-à-dire la tête, était appliquée sur le vitellus; disposition inverse de celle des serpents, qui ont le sommet de la spirale, c'est-à-dire la queue, enfoncée la première dans la dépression du vitellus. Le cordon ombilical inséré fort près de l'anus traversait l'axe de la spirale, et les vaisseaux aboutissaient, les uns à l'exo-chorion et à l'endo-chorion, les autres au vitellus.

OEufs de lézard vert (lacerda viridis).

Le 1er août, je reçus sept œufs de lézard vert qu'on avait trouvés en terre; le lézard était à côté du nid, ce qui me ferait croire que la ponte était récente. La coque de ces œufs était blanche et légèrement ponctuée de brun; elle ne consistait que dans une membrane molle, comme l'est la coque de l'œuf des serpents. Ayant enlevé cette coque, je mis à découvert l'exo-chorion, qui ne lui était point intimement adhérent, et au-dessous duquel existait un fluide diaphane et filant. Au-dessous de ce fluide était l'endo-chorion qui enveloppait le vitellus et l'amnios. Le fœtus contenu dans ce dernier était entièrement formé et enfoncé dans une dépression du vitellus. Je ne fis aucune observation sur les vaisseaux ombilicaux, me proposant de suivre cet objet sur des fœtus plus développés. Je mis les œufs qui me restaient dans un pot rempli de la même terre dans laquelle ils avaient été trouvés. Lorsque au bout de plusieurs jours je voulus les examiner, je fus surpris de les trouver ridés et leurs parois affaissées : leur examen ne m'apprit rien de plus que ce que j'avais observé la première fois; et peu de jours après, les œufs restants furent entièrement desséchés et les fœtus morts.

Le 18 septembre, on m'apporta encore deux œufs de la même espèce trouvés en bêchant la terre; je les étudiai avec soin, et j'observai ce qui suit :

L'exo-chorion était fortement collé à la coque, dont il tapissait tout l'intérieur; au-dessous se trouvait un fluide diaphane et filant; l'endo-chorion, d'une grande ténuité, était situé sous ce fluide, et enveloppait étroitement l'ensemble du fœtus et du vitellus; ces deux membranes étaient ainsi séparées partout par l'interposition du fluide, et n'avaient des rapports supérieurement qu'au moyen des troncs des vaisseaux ombilicaux, et inférieurement au moyen d'une continuité de tissu qui avait l'air d'une simple adhérence, mais qui n'était évidemment que le *point de conjonction* des parois de la vessie ovo-urinaire développée. Je donne ici avec confiance le nom de vessie ovo-urinaire à la poche formée par l'exo-chorion et l'endo-chorion, parce que j'ai des preuves directes que telle est en effet sa nature. La fig. 3, pl. 24, offre la coupe verticale de cet œuf avec des dimensions linéaires

quatre fois plus grandes qu'elles ne le sont dans la nature; *aa,* cavité de l'amnios contenant le fœtus; *bb,* cavité de la vessie ovo-urinaire; *g,* le point de conjonction; *c,* le vitellus; *d,* les vaisseaux du vitellus; *o,* ouverture de l'ouraque.

Le fœtus, courbé sur lui-même et la queue tournée en spirale, était enveloppé d'un amnios peu écarté de son corps et enfoncé à moitié dans une dépression du vitellus, le dos tourné vers le fond de cette dépression. Le cordon ombilical avait à peine une demi-ligne de longueur; on distinguait fort bien les vaisseaux de l'exo-chorion et de l'endo-chorion de ceux du vitellus; à l'intérieur, la veine ombilicale se portait de l'ombilic vers la scissure du foie, où je n'ai point constaté sa terminaison; à l'extérieur elle se divisait en deux branches principales qui se portaient, l'une à droite et l'autre à gauche du fœtus; celle-ci allait directement à l'exo-chorion, l'autre était appliquée sur l'endo-chorion. J'ai vu les vaisseaux du vitellus naître des vaisseaux mésentériques, et entrer dans le cordon munis d'une gaîne péritonéale. Je n'ai aperçu qu'une seule artère ombilicale, celle qui se porte à l'exo-chorion: elle descendait de l'ombilic dans le bassin, collée à une vésicule allongée, remplie de fluide, que je n'ai pu méconnaître pour la vessie. Unie par son extrémité postérieure à l'anus, cette vessie fournissait par son extrémité antérieure un conduit qui s'introduisait dans le cordon et qui paraissait être l'ouraque: pour m'en assurer, je fis une ponction légère à la vessie, j'y introduisis la pointe d'un tube de verre contenant du mercure, tube dont je me sers ordinairement pour les injections fines. Sa pointe a été rendue capillaire en la tirant à la lampe. Au moyen d'une légère insufflation dans le tube, je précipitai quelques gouttes de mercure dans l'intérieur de cette vessie; puis en aplatissant cette dernière avec un corps que je promenais sur sa surface d'arrière en avant, je contraignis le mercure à s'échapper par l'extrémité du cordon ombilical, et je vis de cette manière que l'ouverture de l'ouraque était sur la surface de l'endo-chorion dont j'avais laissé subsister un lambeau autour de l'ombilic, l'exo-chorion étant totalement enlevé. Cette identité parfaite de structure avec celle qu'on observe dans l'ouraque du poulet, ne permet plus de douter que l'exo-chorion et l'endo-chorion ne doivent également ici leur origine au développement de la vessie ovo-urinaire, et que le fluide filant qui se trouve entre ces deux membranes ne soit l'urine du reptile mêlée avec un fluide muqueux. Les anatomistes n'ont point trouvé de vessie chez les lézards, cependant il est certain que dans l'état de fœtus le lézard vert en possède une.

L'ombilic était proportionnellement beaucoup plus éloigné de l'anus qu'il ne l'est chez les serpents; il était situé comme il l'est chez les mammifères, un peu au-dessous du foie, de sorte que la veine ombilicale n'avait qu'un très-court trajet à faire pour se rendre dans la scissure de cet organe.

L'un des deux fœtus que j'ai observés ce jour-là avait à l'anus les deux appendices bilobés que j'ai notés plus haut chez les serpents, et que j'ai reconnus pour les deux verges du mâle. L'autre en était dépourvu, quoique son développement fût le même; ainsi, le premier était un mâle et le second une femelle; on sait que les lézards, comme les serpents, ont deux verges.

Réflexions.

L'œuf des reptiles ophidiens, et probablement aussi celui des lézards, est, dans les premiers temps, soumis à une *incubation* intérieure. Il est dépourvu d'*albumen;* mais il paraît que ce défaut est suppléé par le séjour de l'œuf dans l'oviducte. Pourvu d'une coque molle et perméable, il n'y a pas de doute qu'il ne puise dans les sucs dont il est abreuvé, les fluides nécessaires à la liquéfaction de la matière du vitellus, et aux premiers développements du fœtus.

Les œufs des reptiles que je viens d'étudier sont tous dépourvus de la croûte calcaire qui recouvre l'œuf des oiseaux: chez eux la membrane de la coque est,

avant la ponte, composée de deux feuillets. J'ai une fois divisé le feuillet interne en douze feuillets extrêmement minces, et cela dans l'œuf de la couleuvre à collier. Après la ponte, la membrane de la coque n'offre plus qu'un seul feuillet assez épais.

Le vitellus de ces reptiles est recouvert originairement d'une membrane chalazifère, qui se détache lorsque le fœtus se développe; et il reçoit des vaisseaux mésentériques, qui ne permettraient pas de douter qu'il ne soit un prolongement de l'intestin, quand bien même cela ne serait pas prouvé pour le vitellus de la vipère. Chez cette dernière, le vitellus est retiré dans l'abdomen aux approches de la naissance, et il est infiniment probable qu'il en est de même chez les fœtus de tous les serpents et même des sauriens. Ainsi, la parfaite conformité des phénomènes observés dans l'œuf des oiseaux et dans celui des reptiles ophidiens et sauriens, prouve cette vérité désormais hors d'atteinte, que parmi les membranes qui enveloppent le fœtus de ces animaux, l'amnios seul préexiste avec eux et leur appartient en propre; les membranes vasculaires, qui servent à leur respiration, ne les enveloppent qu'après coup, et sont formées aux dépens et par le développement de la vessie ovo-urinaire qui, chez ces fœtus, a le triple usage de servir à la respiration et à la nutrition et de contenir l'urine. La vessie, lorsqu'elle existe, n'est autre chose qu'un renflement de l'ouraque ou plutôt la vessie; l'ouraque et la vessie ovo-urinaire doivent être considérées comme une seule et même poche étranglée par l'ombilic, et dilatée en deçà et au delà de cette ouverture : par conséquent il est vrai de dire que le fœtus des oiseaux et de plusieurs reptiles *respire par la vessie*.

J'ai constaté que l'on trouve des fœtus entièrement formés dans les œufs que contiennent les oviductes de toutes les couleuvres, de l'orvet, et probablement aussi du lézard vert. Cette observation doit servir à restreindre considérablement les espèces des reptiles, que les naturalistes ont considérées comme *vivipares*. On a, jusqu'à ce jour, accordé cette qualité à tous les reptiles chez lesquels on a trouvé, dans les oviductes, des fœtus vivants; c'est une erreur. On ne doit considérer comme véritablement vivipares que ceux qui, comme la vipère, mettent au monde des petits entièrement développés, et n'ayant plus besoin des organes de nutrition et de respiration propres au fœtus.

SECTION III.

Recherches sur les œufs et les larves des batraciens.

Les belles recherches de *Spallanzani* et de *Swammerdam* sur les œufs des grenouilles, et celles de ce dernier sur leurs larves, appelées têtards, semblent laisser peu d'espoir de découvertes à l'investigateur qui dirige ses recherches dans cette carrière déjà si habilement parcourue; mais ici, comme dans quelques autres circonstances, j'ai pensé qu'il n'était point inutile de revoir ce qui s'était présenté aux regards des plus grands maîtres dans l'art d'observer; j'ai trouvé plusieurs faits importants qui leur avaient échappé, et même j'ai pu rectifier quelquefois leurs erreurs.

Si l'on examine les ovaires de la grenouille vers le commencement du printemps, c'est-à-dire environ un mois après la ponte, on y trouve des œufs de trois dimensions différentes : les plus petits sont transparents; ils ne doivent parvenir à leur maturité que trois ans après. Ceux qui sont de la seconde grandeur offrent déjà une teinte légèrement noirâtre sur l'un de leurs hémisphères; ils sont du reste à demi transparents. Ils ne doivent être pondus que deux ans après. Enfin les œufs de la troisième grandeur sont remplis par une matière émulsive jaunâtre, et ils offrent un segment de leur sphère complétement noir; ils doivent être pondus l'année suivante. La petite calotte noire dont ces œufs sont pourvus s'accroît graduellement et tend par cet accroissement à envahir toute la périphérie de l'œuf, dont la partie qui paraît jaune diminue ainsi de plus en plus. A

l'époque de la ponte, il ne reste plus de blanc-jaunâtre sur l'œuf de la grenouille qu'une petite aire circulaire. Quelques jours après la ponte et la fécondation, cette petite aire jaunâtre ou blanchâtre disparaît tout à fait après avoir diminué graduellement. Cependant le corps proprement dit du têtard commence à paraître sous la forme de deux petites saillies linéaires, renflées et réunies en forme d'anse du côté où sera la tête du têtard; elles sont séparées par un sillon assez profond : ce sont les deux parties latérales de l'axe vertébral : on dirait que, dans le principe, elles sont isolées l'une de l'autre dans toute leur étendue, excepté à la partie antérieure. Ces deux petites saillies linéaires forment, à proprement parler, comme je viens de le dire, le corps du têtard, dont le reste de l'œuf est le ventre. C'est un corps microscopique pourvu d'un ventre énorme. Peu à peu ce petit corps grossit et surtout s'allonge, en sorte qu'il devient moins disproportionné avec le ventre. Bientôt la circonférence de ce dernier est dépassée en avant par la tête et en arrière par la queue. Enfin le têtard prend la forme qu'on lui connaît et sous laquelle, se dégageant de ses enveloppes, il se met à nager dans l'eau. Je reviens actuellement à la petite aire blanchâtre qui existe sur l'œuf nouvellement pondu. Je désirais savoir à quelle partie du fœtus elle correspondait. Il me fut facile de voir qu'elle était située auprès et au-dessous de la partie qui devait devenir la queue du têtard. En suivant le décroissement de cette aire blanchâtre, je la vis se fermer et ne plus laisser enfin qu'une petite ouverture à bords juxta-posés, qui devint l'anus du têtard. Cette observation faite sur les œufs dans l'état normal, me fut confirmée d'une manière bien évidente par un têtard monstrueux que le hasard me fit rencontrer. Ce têtard avait acquis un développement assez considérable dans l'œuf, sans que la petite aire blanchâtre eût éprouvé de diminution. Il me fut alors bien facile de voir que cette aire blanchâtre était véritablement l'ouverture de l'anus, ouverture qui, chez ce têtard monstrueux, était ainsi d'une largeur énorme. L'œil armé d'une loupe, on distinguait très-facilement la réflexion de l'enveloppe abdominale qui se reployait en dedans pour se continuer avec l'intestin. L'ouverture énorme de l'anus n'était bouchée que par une membrane d'une extrême finesse qui s'opposait à la sortie de la matière émulsive que contenait l'intestin globuleux. Cette membrane fine est la membrane propre du vitellus, comme je le dirai plus bas. Cette membrane, qui bouchait l'anus, ne tarda pas à se déchirer : alors l'intestin se vida en partie de la matière émulsive qu'il contenait, et le têtard monstrueux mourut dans ses enveloppes. Reprenons actuellement et rapprochons les unes des autres les observations rapportées plus haut. Les parois abdominales se réfléchissent en dedans pour se continuer avec l'intestin, et l'endroit de cette réflexion se trouve à la circonférence de la petite aire circulaire que présente l'œuf de la grenouille au moment de la ponte. Cette aire circulaire elle-même est l'anus bouché par une membrane fine et diaphane. C'est en se fermant comme une bourse que le pourtour de cette aire circulaire opère la diminution graduelle de cette dernière, jusqu'au point de la réduire à une ouverture à peine visible. Or, cet envahissement du pourtour de l'aire que l'on voit s'opérer après la fécondation, a eu lieu également avant cette époque. En effet, en étudiant le développement de l'œuf dans l'ovaire de la grenouille, j'ai vu la partie noire qui constitue le corps et spécialement l'enveloppe abdominale du têtard commencer par une calotte noire qui, en s'étendant successivement par ses bords, a envahi la périphérie de l'œuf. Par conséquent le ventre du têtard, c'est-à-dire ses parois abdominales et son intestin n'existaient pas dans le principe, enveloppant le vitellus; mais cet enveloppement s'est opéré par l'extension d'une sorte de calotte à deux feuillets continus à la circonférence de cette même calotte, laquelle, parvenue dans son extension jusqu'au plus grand diamètre de l'œuf, a

continué son développement en diminuant ensuite graduellement l'ouverture de ses bords pour s'adapter à la forme du globe de l'œuf dont elle envahit la périphérie. Le feuillet externe de cette calotte primitive a formé l'enveloppe abdominale; le feuillet interne a formé l'intestin globuleux du têtard, dans lequel la substance alimentaire du vitellus se trouve ainsi renfermée. L'œuf de la grenouille n'était donc point le têtard dans le commencement de son apparition dans l'ovaire; c'était un simple vitellus pourvu d'une membrane propre, au-dessous de laquelle s'est glissé le corps et spécialement l'enveloppe abdominale du têtard par le mécanisme de développement que je viens d'indiquer. C'est cette membrane propre du vitellus qui bouchait l'anus démesurément large du têtard monstrueux dont j'ai rapporté plus haut l'observation.

Rien ne prouve, rien n'indique même l'existence du corps symétrique binaire du têtard avant la fécondation; il n'existe véritablement alors qu'un sac alimentaire globuleux, rempli par la matière du vitellus, et pourvu d'une seule ouverture fort large qui sera l'anus de l'animal. On va voir tout à l'heure que cette ouverture anale existe véritablement seule dans le principe et qu'il n'y a point encore d'ouverture buccale; en sorte que la femelle des batraciens livre à la fécondation une sorte de polype qu'elle a procréé et développé à elle seule, et dans lequel l'action fécondante du mâle fera paraître et croître un corps symétrique binaire; phénomène mystérieux dont il ne sera peut-être jamais possible de pénétrer l'essence.

Les différents phénomènes de développement par lesquels le têtard parvient à la perfection de sa forme ne s'accomplissent point aux mêmes époques chez tous les batraciens. Il y a, chez certaines espèces, quelques-uns de ces phénomènes dont l'accomplissement se trouve en retard, ce qui permet de les soumettre à l'observation avec bien plus de facilité. C'est ainsi que chez le têtard de la grenouille, la formation de l'anus ne se complète qu'après la fécondation, tandis que ce même phénomène a lieu avant la ponte et dans les ovaires de la femelle chez la plupart des autres batraciens. En revanche le têtard du crapaud de Roësel (1) dévoile le phénomène de la formation de la bouche, phénomène que le têtard de la grenouille ne montre point du tout. A peine les formes de ce dernier sont-elles possibles à discerner, qu'on distingue déjà une petite dépression à la partie antérieure de sa tête, et cette dépression indique l'ouverture de la bouche. Il n'en est pas de même chez le têtard du crapaud de Roësel; son développement est déjà assez avancé que l'ouverture de la bouche ne paraît point encore. La fig. 4, pl. 24, représente très-grossie la forme de ce têtard dans les premiers temps de son développement dans l'œuf. On voit à la partie inférieure de la face un organe semi-circulaire dont on distingue mieux la forme un peu plus tard, comme on le voit dans la figure 5, qui est aussi très-amplifiée. Cet organe est un repli de la peau dans lequel s'opère la sécrétion d'un liquide filant et glutineux. J'avais pris dans le principe cet organe semi-circulaire pour l'organe de préhension avec lequel le têtard se fixera et s'attachera aux corps après sa sortie des enveloppes de l'œuf. J'ai depuis reconnu mon erreur à cet égard. C'est avec sa bouche que le têtard s'attache aux corps sur lesquels il demeure assez longtemps immobile après sa sortie de l'œuf. L'organe semi-circulaire dont il est ici question est un organe respiratoire, ainsi que cela sera prouvé plus bas. C'est l'organe temporaire auquel est confiée la fonction de la respiration avant

(1) Ce crapaud a été désigné par Roësel sous le nom de *bufo terrestris, dorso tuberculis exasperato; oculis rubris*. Latreille, dans le *Petit-Buffon*, l'a nommé *bufo Roeselii*. La ponte de ce crapaud a lieu, en Touraine, dans les derniers jours de mars ou dans les premiers jours d'avril. Au bout de huit à dix jours, les têtards sortent des enveloppes de l'œuf; ils subissent leur métamorphose vers le 15 juin suivant : ainsi ils ne restent guère plus de deux mois sous la forme de têtard.

l'apparition des branchies. Le filet de liquide glutineux qui sort quelquefois de cet organe a été pris par Spallanzani pour un cordon ombilical [1]. Je l'avais pris autrefois pour une chalaze. Il est assez rare de le rencontrer; mais on peut le produire à volonté en introduisant dans l'organe semi-circulaire une pointe fine avec laquelle on amène un fil de cette matière filante. Chez le têtard de la grenouille, la partie moyenne de cet organe semi-circulaire disparaît de bonne heure, en sorte qu'il ne reste que les deux parties latérales, qui se développent et prennent la forme de deux petits appendices cylindriques. L'intervalle qui sépare les deux branches de cet organe semi-circulaire est creusé en gouttière, comme on le voit en *a* dans la figure 5 [2]. C'est dans cette gouttière que s'ouvrira la bouche, dont il est bien facile de voir qu'il n'existe pas le plus petit vestige. Les deux points noirs que l'on voit au sommet de la tête sont les ouvertures des narines. A une époque plus avancée du développement, on voit paraître la bouche qui se forme par une véritable scissure des téguments. A peu près dans le même temps paraissent les branchies, qui déchirent la peau pour se produire au dehors. La figure 6 représente le têtard à cette époque, et considérablement grossi; *a a*, narines; *b*, bouche; *c*, organe semi-circulaire; *d d*, branchies saillantes au dehors. Les lambeaux de la peau déchirée pour livrer passage aux branchies forment à ces dernières une membrane operculaire qui ne les recouvre qu'en partie. Bientôt cette membrane operculaire prend de l'accroissement et recouvre les branchies en totalité. Lorsque, par cet accroissement progressif, la membrane operculaire est parvenue jusqu'au tronc, elle se soude sur ce dernier, enfermant ainsi de nouveau les branchies, et elle enferme en même temps l'endroit du tronc qui donnera naissance aux bras à une époque plus reculée. Il en résulte qu'à l'époque de la métamorphose les membres antérieurs du batracien auront une enveloppe à déchirer pour se produire au dehors, ainsi qu'on le verra plus bas. Je retourne actuellement à l'étude du développement du têtard dans l'œuf et pour cela je prends l'œuf du crapaud accoucheur.

On sait que le crapaud accoucheur mâle porte pendant quelque temps enlacés dans ses pattes de derrière les œufs dont il a aidé sa femelle à se débarrasser. Ces œufs, fécondés à leur sortie par le contact du sperme du mâle, ne tardent point à offrir les premiers développements du fœtus. Dans les retraites souterraines et humides qu'habite le crapaud ainsi chargé de sa postérité, ces œufs absorbent de l'eau qui les gonfle; ils ne sont point enveloppés de glaire, comme le sont les œufs des autres batraciens qui pondent dans l'eau. Au moment de la ponte ils se présentent à l'observation comme de petites sphères jaunes disposées en chapelle à la suite les unes des autres; une matière émulsive jaunâtre et miscible à l'eau est contenue dans leur intérieur. Deux ou trois jours après la ponte on commence à apercevoir les premiers linéaments du têtard qui apparaît comme un être presque microscopique sur l'un des points de la périphérie de la petite sphère jaune. Cette sphère jaune est le ventre démesurément grand du têtard dont le corps est d'une excessive petitesse relative, en sorte que le contour de ce ventre déborde le corps de tous côtés. La fig. 7, pl. 24, représente l'œuf à cette époque: *a*, corps du têtard vu du côté du dos; *b*, son ventre contenant la matière du vitellus; *c*, espace rempli d'eau dans laquelle nage l'embryon; *d*, coque de l'œuf.

Bientôt la tête d'un côté et la queue de l'autre côté dépassent par leur développement les limites du ventre. Cependant le

---

[1] Expériences sur la génération de la grenouille, § 26.

[2] Ces têtards sont d'un noir foncé; si je leur ai donné une teinte claire dans mes figures, c'est pour mieux faire ressortir les organes que j'ai à décrire.

têtard continue de s'accroître; sa queue en s'allongeant dans la cavité de l'œuf est contrainte de se reployer sur le côté du corps. Je m'appliquai avec beaucoup de soin à séparer les unes des autres les diverses enveloppes que possédait cet œuf; je détachai d'abord une coque transparente qui entraîna avec elle les deux cordons au moyen desquels l'œuf était attaché à ceux qui l'avoisinaient, et je vis que ces deux cordons étaient tubuleux; ils étaient par conséquent une continuation et un rétrécissement de cette première enveloppe de l'œuf. Je dépouillai ensuite ce dernier d'une seconde enveloppe très-transparente et pareille à la première, à l'exception qu'elle n'avait point de cordons; une troisième enveloppe se trouva sous la précédente et lui ressemblait entièrement; au-dessous de cette dernière se trouva le têtard dont la queue, se trouvant en liberté, se déploya et cessa d'être appliquée sur le côté de l'animal. La fig. 8 représente le petit têtard dégagé des enveloppes de l'œuf. J'employai toute l'attention et toutes les précautions possibles pour m'assurer si ce fœtus avait des connexions vasculaires avec les membranes que je venais de détacher, et tout concourut à me prouver qu'il n'en avait aucune; j'ouvris plusieurs de ces œufs dans l'eau, après avoir fendu leurs enveloppes longitudinalement du côté du dos du têtard; celui-ci, par l'effet de son poids seul qui devait être bien peu de chose dans l'eau, abandonna des enveloppes auxquelles il n'adhérait en aucune façon; j'examinai à la loupe et de tous les côtés ces enveloppes à mesure que je les détachais, et je n'aperçus pas entre elles et le têtard la moindre liaison. J'appelai le microscope à mon secours, je soumis aux plus fortes lentilles les enveloppes de l'œuf nouvellement enlevées, et je n'y aperçus pas la moindre trace de vaisseaux; ceux-ci cependant étaient très-apparents, on les voyait facilement, à l'œil nu, se répandre dans l'enveloppe abdominale, et le microscope faisait apercevoir la circulation dans la queue transparente du petit têtard. Ainsi il me fut prouvé par ces observations multipliées que les trois membranes diaphanes enlevées de dessus le têtard n'étaient autre chose que les *membranes de la coque* de l'œuf dans lequel il était enfermé; ces membranes d'ailleurs étaient *coriaces* et tendaient à conserver leur forme globuleuse après avoir été enlevées de dessus le têtard, caractère que ne posséderaient point des membranes *vivantes*. C'était le 14 juillet que j'avais fait cette dernière observation.

Le 15 juillet, j'ouvris quelques-uns de ces œufs, et je trouvai le têtard plus développé; il était pourvu de branchies. Le têtard, dépouillé de ses enveloppes, s'est agité dans l'eau; ayant ouvert les parois abdominales, j'ai mis à découvert le vitellus ou plutôt l'intestin, il était elliptique et terminé par deux petits prolongements diamétralement opposés, desquels l'un répondait à l'anus du têtard, et l'autre se dirigeait vers la partie antérieure (fig. 9). Le 16 juillet, cet intestin avait la forme de l'estomac humain, ayant une grande et une petite courbure, correspondant postérieurement à un canal long d'une ligne et demie, rendue jaune par la matière du vitellus et qui aboutissait à l'anus. Le canal de la partie antérieure était toujours très-court : on observe qu'il forme une petite anse (fig. 10). Le 17 juillet, l'espèce d'*estomac* observé la veille s'est allongé en diminuant de grosseur; il représente actuellement un gros boyau tourné en cercle (fig. 1, pl. 25); le canal qui va à l'anus s'est allongé sans changer de diamètre, la petite anse située à la partie antérieure se fait remarquer. Le 19 juillet, l'intestin contenant la matière du vitellus s'était allongé en un boyau encore plus grêle et plus long, il formait deux tours et demi de spirale. Le canal qui va à l'anus s'était allongé et répondait au sommet de cette spirale conique dont il occupait l'axe (figure 2); les jours suivants le nombre des tours de spirale de l'intestin augmenta insensiblement. Le 23 juillet, il formait quatre tours, et le conduit qui en occupait l'axe droit jusqu'alors commençait à représenter une colonne torse, principe de la spirale qu'il devait affecter bientôt lui-même. Enfin le

24 juillet, plusieurs têtards rompirent leurs enveloppes et se produisirent au dehors. J'en recueillis quelques-uns que je mis dans l'eau, dans laquelle ils se mirent à nager aussitôt. Je laissai les autres œufs dans le vase qui les contenait, et ayant été quelques jours sans les visiter, je les trouvai tous morts. Il paraît qu'ils n'avaient pu parvenir à rompre leurs enveloppes. Cette observation offre une confirmation de ce que j'avais déjà observé précédemment, savoir que la matière du vitellus, chez le têtard, est renfermée dans l'intestin lui-même et non dans un appendice de l'intestin, comme cela a lieu chez le fœtus des oiseaux et des reptiles ophidiens et sauriens. Cet intestin contenant la matière du vitellus, est d'abord globuleux, puis il s'allonge en ellipsoïde, ensuite il figure une poche courbée semblable à l'estomac humain; j'ai vu ensuite cette poche courbée s'allonger en boyau disposé en spirale, dont les contours se sont successivement multipliés de manière à former tout l'intestin du têtard, s'allongeant dans ce développement aux dépens de son diamètre, tandis que ses extrémités restaient fixes et invariables. L'une de ces extrémités était l'anus du têtard, l'autre la petite anse ou repli d'intestin que j'ai constaté, sur des têtards plus grands, être l'anse formée par l'estomac et par le duodenum pour embrasser le pancréas. Ainsi la matière du vitellus existe dans toute l'étendue du canal intestinal, et ce canal, si long et si contourné, n'est dans le principe qu'une poche globuleuse.

Les têtards du crapaud accoucheur n'ont point la couleur noire que présentent ceux de la grenouille et de la plupart des autres batraciens; ils sont gris et même blancs dans les premiers temps de leur apparition. Leur grosseur, quand ils naissent, est de beaucoup supérieure à celle des têtards de grenouilles ou des plus gros crapauds à la même époque. Le temps nécessaire pour leur développement dans l'œuf est aussi beaucoup plus long. J'ai gardé ces œufs onze jours avant que les têtards rompissent leurs enveloppes, et j'ignore depuis combien de temps ils étaient pondus quand je trouvai le crapaud qui les portait. On sait que les têtards des grenouilles, et ceux de la plupart des espèces de crapauds qui pondent dans l'eau, sortent de l'œuf au bout de six jours ou moins. Enfin, il est certain que les œufs du crapaud accoucheur subissent un développement assez considérable pendant le temps que le mâle les traîne avec lui enlacés dans ses pattes postérieures; ce n'est sans doute qu'au moment où les têtards sont prêts à éclore que le mâle les porte dans l'eau, où ils doivent vivre et prendre leur accroissement.

Le têtard est singulièrement différent, à tous égards, du batracien dans lequel il doit se changer: ces derniers vivent tous de proie, tous les têtards vivent de végétaux. Dépourvus de membres, et pourvus d'une longue queue, ils semblent se rapprocher des poissons, auxquels ils ressemblent encore en cela qu'ils respirent par des branchies; le canal intestinal du têtard est approprié à l'espèce de nourriture dont il fait usage: il est extrêmement long. L'estomac, à proprement parler, n'existe point chez lui, c'est l'intestin qui en tient lieu; le véritable estomac ne sert que d'œsophage, il est plus étroit que l'intestin, et les matières alimentaires n'y séjournent point; la rate lui est contiguë comme chez la plupart des animaux, et elle adhère du côté opposé au gros intestin qui, par la disposition en spirale du tube alimentaire, se trouve voisin de l'estomac. A l'époque de la métamorphose, l'intestin se raccourcit spontanément, et peu à peu ce raccourcissement lui fait perdre la disposition en spirale qu'il ne devait qu'à son allongement excessif. Le gros intestin se raccourcit également, et il entraîne avec lui la rate qui lui adhère et qui cesse ainsi d'être contiguë à l'estomac. J'ai mesuré l'intestin d'un têtard de grenouille prêt à se métamorphoser; je l'ai trouvé de treize pouces de long depuis l'estomac jusqu'à l'anus. Ce même intestin, mesuré après la métamorphose, n'a plus qu'un pouce sept lignes de long. Pendant ce raccourcissement de l'intestin, l'estomac, jusqu'alors simple canal, se dilate et devient une poche

propre à recevoir les nouveaux aliments dont fait usage l'animal parfait. Le jeune têtard est couvert d'une peau molle et transparente, au-dessous de laquelle on trouve la peau de l'animal parfait; cette peau extérieure diminue peu à peu d'épaisseur, et finit par n'être plus qu'un épiderme extrêmement fin qui revêt la peau du batracien; cette peau n'est donc qu'un tissu cellulaire gonflé de sucs, qui par son affaissement et son dessèchement devient épiderme. Ainsi, peu de temps avant sa métamorphose complète, le têtard se trouve enveloppé de la peau qu'il aura comme animal parfait, sans aucune superposition apparente; déjà les pattes postérieures ont paru aux deux côtés de l'anus, et se sont développées insensiblement, toujours extérieures dans leur développement; il n'en est pas de même des pattes antérieures; elles se développent dans la cavité particulière qui contient les branchies, et elles sont emprisonnées dans cette cavité par la membrane operculaire qui s'est soudée au tronc ainsi que je l'ai dit plus haut. Ainsi les pattes antérieures du batracien sont longtemps emprisonnées, elles prennent à couvert tout leur développement, et à l'époque de la métamorphose elles rompent la membrane qui les emprisonne et se montrent au dehors. Les branchies contenues dans la même cavité que celle où se trouvent les pattes, sortent quelquefois en partie par la déchirure que celles-ci ont faite. Les pattes antérieures du batracien sont ainsi passées dans les ouvertures de la peau qui les couvrait, comme nos bras sont passés dans les emmanchures d'un gilet. Peu de jours après, les bords de ces déchirures se cicatrisent et deviennent intimement adhérents au pourtour des bras auxquels ces ouvertures ont livré passage; et il est remarquable que les bras sont disposés pour cela, ayant leur peau colorée jusqu'à l'endroit où doit s'opérer cette adhérence.

Ainsi le têtard pour se métamorphoser ne se dépouille d'aucune enveloppe extérieure. Swammerdam cependant a prétendu le contraire, et j'ai peine à concevoir ce qui peut l'avoir induit en erreur sur cet objet. Ce célèbre observateur ne se contente pas de décrire la manière dont le têtard se dépouille de sa peau pour se métarmorphoser; il en donne une figure. Voici comment il s'exprime à ce sujet [1] :

« D'abord leur peau se fend sur le dos « près de la tête, la grenouille passe bientôt « sa tête par cette fente et l'on voit alors « la bouche du têtard qui fait partie de la « dépouille et qui diffère notablement de « la bouche énorme de la grenouille : les « jambes antérieures qui jusque-là étaient « restées cachées sous la peau, commen« cent à se déployer au dehors, et la dé« pouille est toujours poussée en arrière. « Le reste du corps et les jambes de « derrière et la queue elle-même se tirent « successivement de cette dépouille, après « quoi la queue va toujours diminuant de « volume, etc. »

Il n'y a pas un seul mot de vrai dans toute cette description, tout est imaginaire. Le têtard se métamorphose sans se dépouiller d'aucune enveloppe; les bras se produisent au dehors, ils sortent de la cavité où ils ont été longtemps emprisonnés en rompant la membrane operculaire soudée au tronc. J'ai noté l'époque à laquelle s'opère cette soudure de la membrane operculaire au tronc et de laquelle résulte l'emprisonnement des bras du têtard. La bouche du têtard devient la bouche de la grenouille par la déchirure des commissures des lèvres du têtard dont la bouche est beaucoup plus petite que celle de la grenouille. A l'époque de la métamorphose, on voit le têtard à demi métamorphosé faire des mouvements continuels d'abaissement et d'élévation de sa mâchoire inférieure pour ouvrir la bouche et en agrandir l'ouverture par le déchirement des commissures des lèvres. Enfin la queue ne perd aucune enveloppe pas plus que le reste du corps; elle dimi-

[1] Bible de la nature, traduction française par Gueneau, insérée dans la Collection académique, tome v.

nue peu à peu de volume par l'absorption de la matière organisée qui la constitue, et ces matériaux absorbés vont servir à la nutrition et à l'accroissement des autres parties, et spécialement des membres postérieurs qui prennent à cette époque un développement considérable et rapide sans que l'animal prenne de nourriture, ce qui prouve bien que cet accroissement est le résultat de l'absorption de la matière organique qui composait les organes de la queue. Lorsque cette dernière n'a plus qu'environ deux lignes de longueur, on trouve sous la peau qui la revêt un tube membraneux plissé sur lui-même et égal en longueur à celle qu'avait la queue. Ce tube membraneux est le périoste des vertèbres demi-cartilagineuses qui occupaient l'axe de la queue; il se continue avec le périoste des vertèbres de l'animal parfait; peu de jours après, ce périoste lui-même a disparu, ainsi que ce qui restait de la queue dont aucune partie n'a été perdue pour l'animal; il l'a absorbée tout entière. Le têtard avait jusqu'à cette époque respiré simultanément par des branchies et par des poumons. A l'époque de la métamorphose, les branchies s'atrophient et disparaissent. L'eau introduite par les narines du têtard arrivait dans la cavité des branchies par une ouverture située de chaque côté du pharynx. Cette ouverture subsiste dans l'animal parfait, et devient le conduit analogue à la trompe d'Eustache des mammifères. Cette observation m'avait fait croire que les branchies du têtard étaient contenues dans la caisse du tympan; mais il est plus croyable que les deux conduits de la caisse du tympan et des branchies n'ont qu'une seule et même ouverture pharingienne. Un changement remarquable s'opère lors de la métamorphose dans la position des ouvertures des narines. Ces ouvertures sont dans l'origine situées presque au sommet de la tête du têtard *aa* (fig. 6, pl. 24); plus tard, elles se rapprochent un peu de la bouche. Lors de la métamorphose, ces ouvertures se trouvent renfermées dans la bouche de l'animal parfait et à la partie antérieure de son palais.

M. Edwards, dans son important ouvrage intitulé : *De l'influence des Agents physiques sur la vie* (chapitre XV), rapporte une expérience de laquelle il résulterait que l'influence de la lumière est indispensable pour amener le parfait développement des œufs des batraciens. Cette expérience était trop intéressante et ses résultats trop intimement liés à l'objet de mes recherches, pour que je ne m'empressasse pas de la vérifier. Le 20 février, j'ai recueilli des œufs de grenouille qui venaient d'être pondus. J'en ai fait cinq parts que j'ai placées dans des vases semblables, avec une suffisante quantité d'eau. Je plaçai deux de ces vases dans un appartement où la température était maintenue constamment entre + 6 et 10 degrés R. L'un de ces vases fut exposé à la lumière diffuse du jour; l'autre fut soustrait à la lumière, en le couvrant avec un récipient opaque, beaucoup plus ample que le vase qu'il recouvrait. Les trois autres vases furent placés dans un local dont la température était à peu près celle du dehors. Cette température varia de — 1 degré à + 5 degrés pendant la durée de l'expérience. L'un des vases était exposé pendant une partie de la journée à l'influence de la lumière directe du soleil; un autre vase était exposé seulement à la lumière diffuse du jour; le troisième vase enfin était entièrement soustrait à l'influence de la lumière, au moyen d'un récipient opaque sous lequel il était renfermé, et autour duquel j'avais accumulé de la sciure de bois pour intercepter tout à fait la lumière.

Les œufs contenus dans les deux vases qui se trouvaient placés dans l'appartement dont la température était entre + 6 à 10 degrés R., prirent leur complet développement en dix jours, ils se développèrent tous et avec autant de rapidité dans le vase qui était dans l'obscurité que dans celui qui était soumis à l'influence de la lumière. Quant aux œufs contenus dans les trois vases placés dans le local dont la température était plus basse, voici ce qui arriva. Les œufs placés dans le vase exposé à l'influence des rayons solai-

res se développèrent tous, et leur développement fut complet au bout de quinze jours. Les œufs contenus dans le vase soumis seulement à l'influence de la lumière diffuse du jour éprouvèrent un commencement de développement et moururent presque tous. Il n'en vint pas la centième partie à bien; enfin, les œufs contenus dans le vase soustrait complétement à l'influence de la lumière éprouvèrent tous un commencement de développement; mais il n'y en eut que les trois quarts environ qui vinrent à bien; il en mourut un quart dans les enveloppes de l'œuf. Je remarquai que ceux qui moururent étaient ceux qui étaient situés le plus profondément dans l'eau. J'avais déjà remarqué souvent, dans d'autres occasions, qu'en mettant des œufs de grenouille dans des vases étroits et profonds, avec peu d'eau, il n'y avait que les œufs voisins de la surface qui venaient à bien; ceux qui occupaient le fond du vase se développaient imparfaitement et mouraient. Ceci ne venait point du défaut de la lumière, car les vases étaient de verre. Ce défaut de développement des œufs situés profondément dans les vases ne me paraît donc provenir que du défaut d'air. Les œufs des batraciens ne se développent point du tout dans l'eau non aérée, ainsi que je m'en suis assuré par plusieurs expériences; ce qui prouve qu'ils ont besoin d'oxygène pour se développer, et qu'ils consomment celui qui est contenu en dissolution dans l'eau. On conçoit, d'après cela, que l'eau de la surface des vases étant seule à même de dissoudre l'air atmosphérique et de réparer ainsi les pertes qu'elle éprouve par la consommation que font les œufs de cet air en dissolution; on conçoit, dis-je, que cette eau seule possède les conditions nécessaires pour favoriser le développement des têtards, qui devront mourir dans l'eau du fond des vases, parce que celle-ci n'est pas suffisamment aérée. Il résulte de ces diverses expériences que les œufs de grenouille n'ont point besoin de lumière pour venir à bien, et que lorsqu'ils se développent imparfaitement et meurent, cela provient de deux causes: 1° de ce que l'eau n'est pas suffisamment aérée; 2° de ce que la température est constamment trop basse. En effet on vient de voir que, par une température de + 6 à 10 degrés R., les œufs de grenouille se developpaient aussi vite et aussi bien dans l'obscurité qu'à la lumière, tandis que, par une température de — 1 à + 5 degrés, ils mouraient presque tous, quoique exposés à la lumière diffuse du jour. On vient de voir que ceux qui étaient exposés à l'influence des rayons solaires se développaient tous, et cela provient évidemment de la chaleur produite par ces rayons. Quant à ceux qui, par cette même basse température, étaient dans une obscurité complète et vinrent cependant à bien aux trois quarts, leur développement prouve que la lumière ne leur était point nécessaire, et que même ils étaient placés dans des circonstances plus favorables que ceux qui étaient dans le vase exposé à la lumière diffuse du jour. Il est évident que, dans cette circonstance, les œufs étaient un peu garantis de la froide température de l'atmosphère par le récipient de carton qui les couvrait. Il n'y eut que ceux qui étaient dans le fond du vase, c'est-à-dire dans de l'eau non suffisamment aérée, qui périrent.

Ces diverses observations mettent à même d'expliquer les résultats obtenus par M. Edwards. Il plaça des œufs dans deux vases, dont l'un était rendu imperméable à la lumière par des enveloppes et un couvercle de papier noir; l'autre était transparent et fut placé de manière à recevoir les rayons du soleil. Dans le premier vase tous les œufs moururent après s'être un peu développés; ils vinrent tous à bien dans le second. Malheureusement M. Edwards ne dit pas à quelle température fut exposé le premier vase. Peut-être cette température était-elle trop basse, et cela seul suffisait pour arrêter le développement des têtards et les faire mourir. D'ailleurs, la manière dont son vase était recouvert de papier le privait d'une libre communication avec l'air atmosphérique, et cela seul suffisait encore

pour faire mourir les têtards en développement, surtout si l'eau était en petite quantité relativement au nombre des œufs. Quant au second vase, son exposition à la lumière directe du soleil procurait aux œufs une chaleur salutaire et suffisante pour amener leur complet développement. Il n'y a donc rien dans ces expériences qui prouve la nécessité de la lumière pour faire éclore les œufs des batraciens.

Quoique les expériences que je viens de rapporter me parussent concluantes, cependant je crus devoir en faire encore d'autres avant de me déterminer à contredire les assertions d'un observateur pour lequel je professe une estime profonde. A la fin de mars, je recueillis des œufs de crapaud de Roesel qui venaient d'être pondus. J'en mis des quantités à peu près égales dans trois vases égaux et avec la même quantité d'eau. Le premier de ces vases fut placé à portée des rayons solaires ; le second fut exposé simplement à la lumière diffuse du jour; le troisième fut mis sous le récipient de carton où il se trouvait dans l'obscurité la plus complète, ayant accumulé de la sciure de bois autour de l'orifice de ce récipient, afin d'intercepter tout à fait la lumière. La température, pendant la durée de l'expérience, varia de + 8 à 12 degrés R. dans le local où se trouvaient ces vases. Je n'observai aucune différence dans la rapidité du développement des œufs contenus dans ces trois vases. Tous au bout de huit jours donnèrent naissance à des têtards parfaitement développés. Cette expérience achève de prouver que la lumière n'exerce aucune influence sur le développement des œufs des batraciens, et qu'une température suffisamment élevée, c'est-à-dire entre + 6 à 12 degrés R. est une des conditions les plus importantes pour le prompt et complet développement de ces œufs qui ont aussi besoin de se trouver dans de l'eau suffisamment aérée.

OEufs de la salamandre aquatique (triton salamandra).

La salamandre aquatique dépose ses œufs sur les herbes flottantes, dans les eaux dormantes et spécialement sur les feuilles des graminées aquatiques ; elle donne à ces feuilles des plis transversaux alternatifs, et elle dépose dans chaque pli un œuf qui y est agglutiné par la glaire qui l'environne, et qui s'y trouve ainsi à l'abri des attaques de divers insectes qui cherchent à les dévorer. C'est dans les premiers jours de mai que s'effectue la ponte de ces reptiles; le développement de l'embryon s'opère d'une manière toute semblable à celle qui a lieu pour les têtards. Son corps proprement dit commence de même à paraître sur l'un des points *b* (fig. 3, pl. 25) de la petite sphère jaune *a* que l'on pourrait prendre pour un vitellus, mais qui est effectivement le ventre de l'embryon dont le corps proprement dit *b* est encore informe et extrêmement petit ; cet œuf, qui est ainsi l'animal lui-même, est plongé librement dans un liquide diaphane *c*, lequel est séparé par une membrane fort mince de l'enveloppe glaireuse extérieure *d*. Le corps *b* de l'embryon s'allonge rapidement en se courbant autour de son ventre vitelliforme *a*, en sorte que sa tête et sa queue viennent se toucher au point opposé à celui où le corps rudimentaire *b* a commencé à paraître. La figure 4 représente ce nouvel état de l'embryon que l'on voit ployé en cercle autour de son ventre vitelliforme, et dont la tête est voisine de la queue naissante en *b* ; bientôt le ventre vitelliforme *a* de l'embryon commence à devenir plus volumineux, en sorte que son corps proprement dit *b* cesse d'être ployé en cercle complet et commence à se redresser, comme on le voit dans la figure 5. On n'aperçoit encore aucun indice des yeux. On commence à voir ces derniers dans l'embryon un peu plus développé et un peu plus redressé que représente la figure 6. Son ventre vitelliforme a grossi et est devenu ellipsoïde ; dans cette figure l'embryon est représenté dépouillé des enveloppes de l'œuf ; le développement continue et bientôt la petite salamandre se présente, toujours dans l'œuf, sous la forme représentée par la figure 7 ; *b*, corps de la salamandre ; *a*,

son ventre vitelliforme ; *c*, branchies naissantes. Ces branchies ne sont pas celles que possèdera la larve, ainsi qu'on va le voir tout à l'heure. Environ douze jours après la ponte, le fœtus toujours dans l'œuf se présente sous la forme représentée par la figure 8; *aa*, branchies de l'embryon ; *bb*, tubercules qui sont les rudiments des branchies de la larve. Environ dix-huit jours après la ponte, la jeune salamandre, qui a à peine trois lignes de longueur, brise les enveloppes de son œuf d'un vif coup de queue et nage de suite avec rapidité. Sa forme alors est telle qu'elle est représentée par la figure 9 ; *aa*, branchies de l'embryon qui sont situées sur les parties latérales de la face et que, par cette raison, je nomme *branchies faciales; bb*, branchies de la larve ou *branchies cervicales* naissantes ; *cc*, tubercules qui sont les rudiments des membres antérieurs. En examinant les *branchies faciales, a a*, au microscope, on y voit la circulation du sang comme dans les *branchies cervicales*. Une artère porte le sang jusqu'à leur extrémité, et là se changeant en veine, ramène le sang vers le cœur. Le canal alimentaire de ces salamandres qui viennent d'éclore est étendu en droite ligne de la bouche à l'anus. L'œsophage *a* (fig. 10, pl. 25), qui est très grêle, est suivi par le petit renflement *b* qui constitue l'estomac ; à la suite de ce dernier est l'intestin *c*, renflement allongé, lequel offre, près de son origine, le foie *d* à gauche et la rate *e* à droite. Cet intestin *c*, plus gros que l'estomac *b*, contient encore la matière jaune du vitellus ; cette matière n'existe point dans l'estomac. Ce fait est en concordance avec ce qui a été observé plus haut chez le têtard qui renferme la matière du vitellus dans son intestin seulement et nullement dans son estomac. Cet intestin cesse bientôt d'être étendu en droite ligne de l'estomac à l'anus, il s'allonge graduellement et prend ainsi les replis et les circonvolutions qu'on lui voit dans la suite. Chez la salamandre qui vient d'éclore, la rate *e* et le foie *d* (fig. 10) sont véritablement deux organes dont l'ensemble binaire est symétrique, car ils sont placés de la même manière aux deux côtés du canal intestinal, et leur forme est la même ; seulement le foie excède un peu la rate en grosseur. Cette observation peut porter à considérer la rate comme étant le *foie droit* dans un état d'avortement. Le *foie gauche* existerait seul comme organe sécréteur de la bile ; cette sécrétion serait refusée au *foie droit*. On sait que chez les insectes, les organes biliaires existent avec un égal développement à droite et à gauche du canal alimentaire. Il paraîtrait donc que cet état double et symétrique des organes biliaires existerait généralement, mais qu'il disparaîtrait de bonne heure chez les animaux vertébrés par l'avortement du *foie gauche* qui prend alors le nom de *rate*, masse organique à laquelle on ne connaît point de fonctions.

Quelques jours après que la salamandre est sortie des enveloppes de l'œuf, les *branchies faciales a a* (fig. 21, pl. 27) se flétrissent, le sang cesse d'y aborder et bientôt elles disparaissent; pendant ce temps les *branchies cervicales bb* se développent et se ramifient.

J'avais déjà annoncé en 1821 l'existence des *branchies faciales* de la salamandre [1], je les désignais alors sous le nom de *branchies génales*, parce qu'elles paraissent situées sur les joues de l'animal, j'avais constaté leur existence chez le têtard de la grenouille, mais je n'avais pas encore saisi leur origine chez ce dernier. C'est ce que j'ai fait depuis, et j'ai vu que ces branchies naissent des deux parties latérales de l'organe semi-circulaire que j'ai décrit plus haut (fig. 4, 5, 6, pl. 24). Le têtard de la grenouille, observé dans l'œuf environ six jours après la ponte, offre, comme celui du crapaud de Roësel, l'organe semi-circulaire dont il est ici question. Bientôt la partie moyenne de cet organe semi-circulaire s'efface et disparaît; et vers le dixième jour il ne reste plus que les deux parties latérales, lesquelles subissent un développement qui les al-

[1] Bulletin des Sciences de la Société Philomatique, 1821, page 21.

longe en deux productions cylindriques fort petites. Ces productions cylindriques sont très-évidemment les analogues des branchies faciales de la salamandre, ainsi que me l'a prouvé le fait d'un développement accidentel très-considérable de ces branchies faciales, développement que j'ai observé chez un têtard du crapaud accoucheur encore renfermé dans les enveloppes de l'œuf. Chez ce têtard les branchies faciales placées exactement comme elles le sont chez le têtard de la grenouille, avaient acquis une longueur considérable et s'étaient même ramifiées; elles avaient chacune trois rameaux semblables à des fils déliés d'un rouge vermeil, et flottants dans le fluide aqueux que contenait la coque de l'œuf; il n'était pas possible ici de méconnaître ces organes pour des branchies; on ne pouvait méconnaître non plus leur analogie avec les petites productions cylindriques du têtard de la grenouille; et comme celles-ci dérivent d'un développement particulier de l'organe semi-circulaire décrit plus haut chez le têtard du crapaud de Roësel, il en résulte que cet organe semi-circulaire est véritablement un organe respiratoire. Ainsi il demeure démontré que le fœtus des batraciens possède dans le principe des *branchies faciales,* organe respiratoire temporaire que le fœtus perd lorsque ses *branchies cervicales* se sont développées.

Ce n'est qu'environ un mois après sa sortie de l'œuf, que la salamandre montre les premiers rudiments de ses membres postérieurs; ces membres, comme les membres antérieurs acquièrent leurs doigts par une sorte de végétation : ils sont incomplets dans le cours de la première année. Ce n'est que lorsque la salamandre est âgée d'un an qu'elle perd ses branchies cervicales, et c'est ce dernier phénomène qui la constitue animal parfait.

Réflexions.

L'œuf des reptiles batraciens offre des différences très-remarquables avec l'œuf des reptiles ophidiens et sauriens. Chez ces derniers la matière du vitellus est contenue dans un appendice de l'intestin grêle; chez les premiers elle est contenue dans l'intestin lui-même, lequel est globuleux dans l'origine, et qui s'allonge en tube par l'effet du développement. Ce n'est qu'après la fécondation que la matière du vitellus est enveloppée par l'*envahissement* de l'intestin chez les oiseaux, et par conséquent aussi chez les reptiles ophidiens et sauriens; cet envahissement de la matière du vitellus a lieu en grande partie avant la fécondation chez les batraciens et dans leurs ovaires.

Il y a trois modes successifs de respiration chez les oiseaux et les reptiles ophidiens et sauriens; ces trois modes de respiration sont : 1° la respiration mésentérique; 2° la respiration vésicale; 3° la respiration pulmonaire; ils correspondent à des époques successives du développement du fœtus. Il y a aussi trois modes successifs de respiration chez le fœtus des batraciens : 1° la *respiration branchio-faciale;* 2° la *respiration branchio-cervicale;* 3° la *respiration pulmonaire.*

Spallanzani a démontré le premier que le produit de la génération des batraciens femelles est le têtard lui-même sous une forme globuleuse, en sorte que le têtard préexiste à la fécondation opérée par le mâle : mes observations confirment pleinement cette découverte de Spallanzani; mais elles y apportent cependant une modification importante : il est bien prouvé que la femelle des batraciens livre à l'action fécondante du mâle un animal tout formé; mais cet animal n'est point encore un têtard. C'est tout simplement un sac alimentaire pourvu d'une seule ouverture qui deviendra l'anus de l'animal; l'ouverture buccale ne se forme qu'après la fécondation, par l'effet d'une perforation du fond de ce sac alimentaire.

Le fœtus préexistant à la fécondation chez les batraciens est donc une sorte de ployпе. J'ai fait voir que ce polypoïde ou ce sac alimentaire s'est formé par l'extension

d'une sorte de calotte ou de cloche à deux feuillets, qui a envahi la périphérie de l'œuf ou du vitellus préexistant dans l'ovaire à cet envahissement. Ceci permet de remonter rationnellement à la forme originelle de l'animal, qui, dans le principe, doit avoir été une simple vésicule, laquelle, aplatie sur le vitellus globuleux, a pris, en se développant sur lui, la forme d'une calotte à deux feuillets [1], et par suite celle de deux sacs emboîtés l'un dans l'autre, continus au pourtour de l'ouverture anale, et laissant entre eux une cavité qui est la cavité de la vésicule primitive, et qui est devenue la cavité péritonéale de l'animal. Le sac externe est devenu la paroi abdominale, et le sac interne est devenu l'intestin globuleux du têtard. Mais ce mode de plicature supposerait que le péritoine ne se réfléchirait sur l'intestin qu'au pourtour des ouvertures anale et buccale, comme cela a lieu, par exemple, chez les insectes. Chez eux, en effet, l'intestin est entièrement libre et flottant dans la cavité abdominale ; mais il n'en est pas de même chez les animaux vertébrés, dont l'intestin est fixé à l'axe vertébral par un mésentère. Cette structure prouve que la plicature au moyen de laquelle se forme leur intestin n'est pas tout à fait aussi simple que je viens de l'exposer ; et quoiqu'il soit bien démontré que l'intestin se forme au moyen d'un renversement en dedans de la surface extérieure de l'embryon vésiculaire primitif, c'est-à-dire au moyen d'une plicature, il n'en est pas moins certain qu'il y a dans le mécanisme de cette plicature formatrice quelque chose qui nous échappe. Les premiers phénomènes de la formation des animaux sont à une si grande distance de nos moyens d'investigation, que ce n'est pour ainsi dire, qu'à la dérobée que nous pouvons en apercevoir quelques-uns. Toutefois, le peu que nous pouvons découvrir nous suffit pour être convaincus que les animaux ne préexistent point tout formés et à l'état d'excessive petitesse dans les êtres générateurs. Ceci doit ramener les esprits vers le système de l'épigénèse ; mais vers une épigénèse raisonnable. Autant il paraît absurde de supposer avec Bonnet, et d'autres, l'emboîtement primitif de tous les germes les uns dans les autres, autant il paraît impossible de considérer la formation de l'animal comme le résultat de l'agrégation de diverses molécules, ou comme le résultat d'une sorte de cristallisation. L'observation microscopique apprend que tous les êtres vivants, sans aucune exception, sont composés de petites vésicules agglomérées. Or, il suffit qu'une de ces vésicules soit soumise à des plicatures particulières, à un mode de développement particulier pour donner naissance à un nouvel être, à un animal de l'organisation la plus simple, lequel, par les lois tout à fait inconnues qui président à la génération des animaux, peut parvenir ensuite aux divers degrés de per-

[1] C'est en 1826 que je publiai pour la première fois cette observation touchant la forme originairement vésiculaire de l'embryon avant la fécondation. C'est en 1830 que Purkinge a publié son ouvrage intitulé : *Symbolæ ad ovi avium historiam ante incubationem*. Dans cet ouvrage, Purkinge décrit, dans la cicatricule de l'œuf de la poule, une vésicule un peu aplatie qu'il nomme *vésicule germinative*, et qui existe même dans les œufs non fécondés. N'apercevant plus cette vésicule dans l'œuf sorti de l'ovaire et passé dans l'oviducte, Purkinge admit d'abord qu'elle avait été rompue par les contractions de l'oviducte, et que le liquide qu'elle contenait formait alors un *colliquamentum* qui était l'origine du blastoderme ; mais dans une note ajoutée, à ce qu'il paraît, lors de l'impression, il abandonne cette idée. Voici la traduction de cette note : *il me paraît actuellement plus vraisemblable que la vésicule forme le blastoderme, et que ses deux hémisphères s'étendent en double membrane*. Ce mécanisme de l'aplatissement d'une vésicule de manière à former deux membranes ou *calottes* superposées qui s'étendent en se développant sur la surface sphérique du vitellus, et qui forment ainsi le *blastoderme*, c'est-à-dire l'embryon rudimenteux ; ce mécanisme, dis-je, est exactement le même que celui que je viens d'exposer par rapport à la vésicule qui, dans l'œuf des batraciens, forme de même l'embryon rudimentaire. Ma découverte à cet égard précède de quatre ans celle de Purkinge. D'après cette concordance, il devient à peu près certain que l'embryon est produit par la plicature et par le *développement formateur* d'une simple vésicule.

fection de l'organisation animale. Ces données peuvent servir à fortifier l'opinion émise par M. Geoffroy Saint-Hilaire sur l'unité de composition organique, opinion ingénieuse, que je crois très-fondée en ceci, que toutes les formes animales dériveraient d'une seule et même forme primitive.

M. Serres, dans ses belles recherches sur la structure du cerveau des animaux vertébrés, a fait voir que le fœtus d'un mammifère possède dans le principe un cerveau de poisson qui devient ensuite cerveau de reptile, puis cerveau d'oiseau, enfin cerveau de mammifère. Ceci prouve bien évidemment que les quatre classes des animaux vertébrés sont des modifications d'un seul et même plan primitif. Les recherches que je viens d'exposer font remonter un peu plus haut cette échelle de gradation des formes, en montrant que le reptile batracien qui est antérieurement poisson, sous la forme de têtard, possède avant cela une forme analogue à celle d'un simple polype, et qu'il est simple vésicule avant d'affecter la forme polypoïde. Sous ces deux derniers états, qui sont les états primitifs, il est engendré par la femelle seule qui, comme les polypes, possède ainsi la génération gemmipare, mais pour engendrer des polypoïdes seulement. Il faut la fécondation du mâle pour opérer la métamorphose de ce polypoïde en animal symétrique binaire. Peut-être cela s'opère-t-il par l'union d'un animalcule spermatique fourni par le mâle avec l'animalcule polypoïde fourni par la femelle.

SECTION IV.

Recherches sur les enveloppes du fœtus des mammifères.

Je n'offre point ici des recherches étendues sur les fœtus des mammifères; mon but n'est point de chercher, sur les traces de *Harvey* et de *Haller*, à découvrir ce qui se passe après la fécondation dans les premiers moments de l'existence de l'embryon. Ce point si curieux de la science, sur lequel de grands physiologistes n'ont encore répandu que de bien faibles lumières, mérite des recherches vastes et approfondies dirigées sur un grand nombre d'espèces animales. Je n'offre ici que des observations peu nombreuses, dont le but est de montrer l'identité de structure qui existe entre l'œuf de quelques mammifères et celui des oiseaux, auquel je joins l'œuf des ovipares vertébrés qui ne se métamorphosent point, et d'amener ainsi à cette conclusion naturelle : que chez les premiers comme chez les derniers, l'exo-chorion et l'endo-chorion n'enveloppent qu'après coup le fœtus, enveloppé originairement par l'amnios.

Il est prouvé aujourd'hui que les mammifères, comme les autres animaux, doivent leur origine à un œuf; cet œuf, qui est extrêmement petit, avait été vu il y a longtemps par Graaf dans la matrice de la femelle du lapin, mais on n'avait pas ajouté foi aux assertions de cet observateur. MM. Prévost et Dumas, et ensuite Baer, ont depuis mis hors de doute l'existence des œufs chez les femelles mammifères. La science n'avait point encore fait cet important progrès lorsque j'ai publié pour la première fois les observations que je vais exposer.

§ I. — *OEuf de la brebis.*

Haller, qui a mis tous ses soins pour découvrir les premiers rudiments de l'embryon chez les brebis fécondées, n'a pu apercevoir le fœtus que dix-sept jours après la fécondation. Il était alors long de trois lignes, et déjà muni de toutes ses enveloppes [1]. Ainsi Haller n'a point vu l'origine de ces enveloppes; je n'ai point assisté non plus à leur formation; mais il m'a été permis d'observer la disposition de ces enveloppes, et de comparer cette disposition à celle des enveloppes des fœtus d'oiseaux ou de reptiles. Il est évident que s'il existe de la similitude dans les dispositions, j'ai pu en con-

[1] Mémoires de l'Académie des Sciences, année 1757, Physiologie, chap. de la Conception.

clure la similitude du développement antérieur.

Il n'a point été dans mon pouvoir de constater l'époque de la fécondation chez les brebis pleines dont j'ai observé les fœtus; pour suppléer autant que possible à ce qui me manque à cet égard, j'indiquerai la longueur exacte du fœtus et son état de développement. Ces renseignements suffiront, je pense, à ceux qui seraient tentés de répéter mes observations.

Première observation. — Le fœtus le moins avancé sur lequel il m'ait été permis de faire des observations distinctes, ne présentait encore ses quatre membres que comme des tubercules charnus dans lesquels on ne distinguait rien de leur forme subséquente. Ses yeux commençaient à paraître comme deux petites taches noirâtres; il était courbé en arc et avait six lignes et demie de longueur, depuis la courbure du croupion jusqu'à celle de la nuque, qui formaient les limites antérieures et postérieures de cet arc. L'enveloppe de ce fœtus, étendue sous la forme d'un boyau assez long dans les deux cornes de la matrice, offrait les membranes suivantes :

1° Une membrane extérieure non vasculaire, qu'une macération de quelques heures dans l'eau fit tomber en écailles; cette membrane est celle que *Haller* appelle *membrane extérieure de l'œuf;* j'avais autrefois considéré cette membrane, ou plutôt cette couche membraniforme, comme étant l'analogue de celle à laquelle Hunter a donné, dans l'œuf humain, le nom de *membrane caduque*. Cette analogie me paraissait fondée, puisque la membrane que j'observais ici était effectivement *caduque* et occupait la surface externe de l'œuf. Cependant, comme il me paraît plus que douteux qu'il y ait la moindre analogie entre la couche membraniforme et inorganique qui se trouve sur l'œuf de la brebis et l'enveloppe fœtale organique et persistante à laquelle Hunter a donné, on ne sait pourquoi, le nom de *membrane caduque* dans l'œuf humain, j'ai pris le parti d'imposer un nom particulier et nouveau à la couche membraniforme dont il est ici question. Je la désignerai dorénavant sous le nom d'*épiône* [1]; elle était intérieurement adhérente à la suivante.

2° L'exo-chorion, qui n'offrait encore aucune trace des nombreux placentas qu'il aura dans la suite; aussi l'œuf était-il entièrement libre d'adhérence aux parois de l'utérus; le réseau vasculaire de cette membrane était recouvert par un *épiderme fin* qu'on ne pouvait en séparer [2].

3° L'allantoïde, poche non vasculaire, remplie d'un fluide diaphane s'étendant en avant et en arrière du fœtus sous la forme d'un boyau, recouverte dans toute sa périphérie par l'exo-chorion, mais n'enveloppant point le fœtus sur le côté droit duquel elle passe.

4° L'endo-chorion, entièrement vasculaire, enveloppant la vésicule ombilicale et l'amnios; il est immédiatement appliqué sur cette dernière membrane qu'il enveloppe de toutes parts et avec laquelle il paraît confondu, parce qu'il est comme elle extrêmement mince; mais il est très-facile de l'en détacher, et on voit de cette manière qu'il lui est seulement superposé sans aucune adhérence. On voit facilement la continuation des vaisseaux de l'exo-chorion dans l'endo-chorion, au *point de conjonction* qui est situé du côté du dos du fœtus. L'endo-chorion est séparé de l'exo-chorion par l'allantoïde du côté droit du fœtus, mais du côté gauche il est contigu à ce même exo-chorion avec lequel il se continue.

5° L'amnios, nullement vasculaire, encore appliqué sur le fœtus qu'il touche de toutes parts, excepté aux endroits où

[1] Mot dérivé de *επι*, *sur*, et de *ωον*, *œuf*.

[2] Cet *épiderme fin* est une enveloppe fœtale à part; c'est l'enveloppe propre que l'œuf possédait dans l'ovaire, et qui a acquis un grand développement. Ce fait résulte des recherches de Baer, et postérieurement de celles de M. Coste. C'est à cette membrane que G. Cuvier donne le nom de *chorion*, dans ses recherches sur les œufs des quadrupèdes.

il est légèrement soulevé par les membres naissants.

La vésicule ombilicale était adhérente à la partie latérale de l'intestin grêle par une de ses extrémités, et par l'autre elle se terminait par deux très-longues cornes. L'abondance de ses vaisseaux la rendait d'un rouge vif; j'injectai du mercure dans son intérieur par le moyen d'une ponction latérale; le mercure passa sans difficulté dans l'intérieur de ses deux cornes tubuleuses : il est à remarquer que celles-ci étaient contenues dans l'épaisseur des parois de l'exo-chorion [1]. L'intestin du fœtus était légèrement courbé, mais ne formait point de circonvolutions; il était d'une grosseur fort remarquable.

Deuxième observation. — Le fœtus courbé en arc avait huit lignes de long depuis la convexité de la tête jusqu'à celle de la croupe; l'œuf étendu, sous la forme d'un boyau, dans les deux cornes de la matrice, avait huit pouces de long. L'épiône commençait à s'exfolier, et l'exo-chorion situé au-dessous commençait à présenter des vaisseaux plus rouges et plus développés là où il répondait aux éminences ou tubérosités qui garnissent l'intérieur de la matrice. L'endo-chorion était libre et non adhérent à l'amnios, et on apercevait facilement le *point de conjonction*; il y avait un peu d'eau dans l'amnios; la vésicule ombilicale était encore adhérente à l'intestin, lequel, diminué de grosseur, commençait à s'étendre en longueur. La figure 1, pl. 26, représente l'œuf de la brebis dans l'état d'avancement que je viens d'indiquer; *a* est le fœtus courbé en arc; *b*, son foie volumineux; *c*, la cavité de l'amnios; *d*, les vaisseaux ombilicaux; *ee*, la cavité de l'allantoïde; *gggg*, l'épiône ayant au-dessous d'elle l'exo-chorion muni de son *épiderme*; *mm*, l'endo-chorion se joignant au *point de conjonction* *o* avec l'exo-chorion. Cette membrane est immédiatement appliquée sur l'amnios; elle correspond, à gauche du fœtus, à l'exo-chorion; elle en est séparée à droite par l'origine de l'allantoïde; *i* est la vésicule ombilicale pourvue de ses deux cornes; elle est représentée à part et considérablement grossie dans la figure 2; *a* est le corps de la vésicule; *bb*, ses deux longues cornes; *c*, l'endroit par lequel elle tient à l'intestin.

Troisième observation. — Le fœtus avait huit lignes et demie de long. L'épiône était presque toute tombée en écailles. Les vaisseaux des placentas nombreux avaient percé l'*épiderme* de l'exo-chorion, et ils commençaient à adhérer aux tubérosités de la matrice. L'amnios rempli d'eau était écarté de deux lignes du corps; l'endo-chorion ne lui adhérait point encore, et on voyait imparfaitement le *point de conjonction*. La vésicule ombilicale ne tenait plus à l'intestin.

Quatrième observation. — Le fœtus avait un pouce de long; l'endo-chorion était adhérent à l'amnios et à l'exo-chorion, de sorte que le *point de conjonction* avait disparu. La vésicule ombilicale détachée de l'intestin était éloignée du fœtus. Les placentas étaient formés et adhérents à la matrice.

Cinquième observation. — Le fœtus avait un pouce huit lignes de longueur; il avait complétement la forme propre à son espèce et les jambes déployées dans l'attitude d'un animal debout, il nageait dans le fluide abondant qui distendait l'amnios. Cette dernière membrane était inséparable de l'endo-chorion et confondue pour ainsi dire avec lui. Le *point de conjonction* avait disparu par l'adhérence complète de l'endo-chorion à l'exo-chorion partout où il n'en était point séparé par l'allantoïde; à peine restait-il quelques vestiges de l'épiône; de nombreux placentas attachaient l'exo-chorion à la

[1] Je confondais alors, et je considérais comme une seule membrane l'exo-chorion vasculaire et l'*épiderme fin* qui le recouvre et lui est adhérent. C'est entre ces deux membranes intimement adhérentes que sont situées les cornes de la vésicule ombilicale.

matrice; ils étaient formés chacun de nombreuses digitations qui s'enfonçaient dans des trous pratiqués dans la substance spongieuse de la matrice, ou plutôt les éminences que possède naturellement celle-ci s'étaient grossies et développées de manière à envelopper les *racines* digitées des placentas; un fluide lactescent sortait par la pression de ces éminences de la matrice; la vésicule ombilicale avait disparu; les deux artères ombilicales étaient placées aux deux côtés de la vessie urinaire et contenues dans ses parois; elles venaient, presque contiguës, se rendre dans l'exo-chorion et dans l'endo-chorion, accompagnées par les deux branches de la veine ombilicale bifurquée dans l'abdomen avant d'entrer dans le cordon ombilical.

Il résulte de ces observations :

1° Que l'œuf de la brebis ne possède point de placentas dans les premiers temps de son développement, et qu'il est extérieurement enveloppé par une membrane non vasculaire, l'épiône, qu'on ne peut se dispenser de considérer comme l'analogue de la membrane de la coque de l'œuf des oiseaux et des reptiles;

2° Que l'exo-chorion et l'endo-chorion sont unis par un *point de conjonction* diamétralement opposé à l'implantation des vaisseaux ombilicaux, comme cela a lieu dans l'œuf des oiseaux et des reptiles;

3° Que l'amnios est dans le principe adhérent au corps de l'embryon, et libre d'adhérence avec l'endo-chorion, comme cela a lieu chez l'embryon des oiseaux;

4° Que la vésicule ombilicale est située entre l'endo-chorion et l'amnios, comme cela existe pour le vitellus dans l'œuf des oiseaux et des reptiles, et qu'elle est de même un appendice de l'intestin grêle;

5° Que les vaisseaux ombilicaux ont une origine et une position semblables chez le fœtus de la brebis, et chez celui des oiseaux et des reptiles.

Tout cela prouve la grande analogie qui existe entre l'œuf de la brebis et celui des oiseaux; mais ces œufs diffèrent en un point très-remarquable, qui est l'existence chez le fœtus de la brebis d'une allantoïde non vasculaire. Je vais essayer de prouver que cette particularité n'établit point une différence essentielle et fondamentale entre l'œuf de la brebis et celui des oiseaux.

L'allantoïde non vasculaire du fœtus de la brebis est placée entre l'exo-chorion et l'endo-chorion. Ces deux membranes vasculaires, qui se continuent par réflexion l'une avec l'autre au *point de conjonction*, sont évidemment formées par la plicature sphérique d'une vessie ovo-urinaire, comme cela a lieu dans l'œuf des oiseaux. Il résulte de là, que l'*allantoïde* ou la poche non vasculaire qui contient l'urine dans l'œuf de la brebis, se trouve réellement contenue dans l'intérieur de la *vessie ovo-urinaire* dont la plicature a formé l'exo-chorion et l'endo-chorion, et à laquelle cette poche non vasculaire n'adhère point. Il paraît donc que cette poche non vasculaire nommée *allantoïde*, s'est détachée de l'intérieur de la vessie ovo-urinaire qu'elle doublait primitivement. Ceci n'est point une pure hypothèse dépourvue de preuves. Il est certain que l'allantoïde non vasculaire du fœtus de la brebis n'est point une continuation de la vessie du fœtus, considérée dans son entier; cet organe, tel qu'il s'est présenté à moi dans ma cinquième observation, paraît composé de deux membranes non vasculaires, dans l'intervalle desquelles sont situés les artères ombilicales et le réseau vasculaire propre à cette poche urinaire. Or, il est facile de voir que l'allantoïde non vasculaire ne se continue qu'avec la membrane intérieure de la vessie : elle est séparée de la membrane extérieure par les artères ombilicales; elle paraît donc n'être autre chose que l'extension de cet épiderme intérieur qui, par l'effet d'un développement particulier, se serait détaché du réseau vasculaire qu'il recouvre. Rien ne s'oppose donc à ce qu'on admette que les membranes vasculaires du fœtus de la brebis ont la même origine que celles du poulet, c'est-à-dire qu'elles ne sont de même qu'un développement particulier du fond de la vessie du fœtus échappé par l'ouverture ombilicale; d'ailleurs des preuves

rationnelles et plusieurs preuves directes confirment ce résultat. J'ai fait voir plus haut l'identité des vaisseaux qui se distribuent à la vessie ovo-urinaire du poulet et de ceux qui se distribuent à l'exo-chorion et à l'endo-chorion du fœtus des mammifères; cette identité de vaisseaux annonce indubitablement l'identité de l'organe auquel ils se distribuent : or cet organe étant un développement particulier de la vessie chez le poulet, il en doit être de même chez le fœtus de la brebis. L'identité de la vésicule ombilicale du fœtus des mammifères avec le vitellus du poulet, est reconnue depuis longtemps; ces deux organes sont semblablement placés; tous les deux sont hors de l'amnios et situés sous l'exo-chorion; or cette similitude de position ne peut provenir que de la similitude du mécanisme d'enveloppement, mécanisme que j'ai exposé en étudiant le poulet. Certes si l'induction de l'analogie est permise dans les sciences, c'est ici qu'elle doit être admise; car on sait que la nature vivante affecte toujours une marche uniforme dans la production des phénomènes du même genre. D'ailleurs aux preuves rationnelles que je viens de donner, se joignent plusieurs preuves directes : telle est surtout l'existence démontrée du *point de conjonction* dans les premiers temps de l'apparition du fœtus; telle est la position des artères ombilicales du fœtus de la brebis dans l'épaisseur des parois de la vessie; tel est encore, dans les premiers temps, le défaut d'adhérence de l'endo-chorion à l'amnios, défaut d'adhérence qui annonce que la contiguïté de ces membranes est récente et que par conséquent l'amnios est enveloppé depuis peu par l'endo-chorion. J'ai vu en effet que chez le poulet, où j'ai observé directement cet enveloppement, l'endo-chorion n'adhère point dans les premiers temps à l'amnios, et que ce n'est qu'après un certain temps qu'il lui devient adhérent au point de se confondre pour ainsi dire avec lui. Le même phénomène ayant lieu chez le fœtus de la brebis, cela ne peut provenir que de la même cause; ainsi tout concourt pour prouver que l'identité la plus parfaite existe, quant aux dispositions principales, entre l'œuf de la brebis et celui des oiseaux et de la plupart des reptiles. Tout doit donc porter à reconnaître, chez les premiers comme chez les derniers, l'existence d'un même phénomène général, celui de l'enveloppement de l'amnios par une extension de la vessie [1].

---

[1] Ce travail sur l'œuf de la brebis avait été présenté à l'Institut au commencement de 1814; il formait la quatrième section du Mémoire dans lequel j'étudiais aussi l'œuf des oiseaux et celui des reptiles. Feu G. Cuvier, dans le rapport qu'il fit sur ce travail, ne parla que de mes recherches sur l'œuf des oiseaux et des reptiles, se réservant, dit-il, de rendre compte de mon travail sur l'œuf de la brebis dans le Mémoire qu'il préparait *sur les œufs des quadrupèdes*. Ce mémoire fut lu à l'Institut, mais son auteur avait oublié d'y parler de mes recherches qui avaient été l'occasion des siennes, et qui avaient établi déjà l'analogie de structure entre l'œuf des quadrupèdes et celui des oiseaux. Comme la priorité de cette découverte aurait pu m'être contestée, je réclamai auprès de l'illustre naturaliste, qui reconnut franchement mes droits dans la lettre que je reproduis ici; elle fut adressée par lui à M. Montègre, qui avait inséré dans la Gazette de Santé, dont il était rédacteur, l'analyse du Mémoire sur les œufs des quadrupèdes. Cette lettre a été publiée dans le numéro du 11 février 1816 de cette gazette. La voici :

« Monsieur, j'ai fait un rapport à l'Institut sur la structure des œufs, telle que la développaient les observations contenues dans un mémoire présenté à la première classe par M. Dutrochet, et j'ai fait suivre ce rapport d'un Mémoire sur les œufs des quadrupèdes en particulier d'après mes propres observations. Vous avez bien voulu rendre compte de ces deux écrits dans votre feuille, et j'en suis bien reconnaissant; mais vous avez oublié de faire remarquer ce que je disais expressément dans le second, qu'il n'était qu'une suite et un développement de ce que M. Dutrochet avait dit sur l'œuf de la brebis. Comme il pourrait résulter de cette omission, que l'on m'attribuerait des observations qui appartiennent à ce savant distingué, je vous prie de vouloir bien rétablir les faits. M. Dutrochet a constaté, dans ce qu'il a dit de l'œuf de la brebis, les détails d'analogie que je n'ai fait que suivre dans l'œuf des autres quadrupèdes.

« Je vous prie d'agréer la haute considération avec laquelle j'ai l'honneur d'être, etc.,

« G. Cuvier, secrétaire perpétuel. »

Le 30 janvier 1816.

Le Mémoire sur les œufs des quadrupèdes a été

La matrice de la brebis, dans l'état de vacuité, est garnie d'une assez grande quantité de *bosses* ou de petites tubérosités qui s'aplanissent lorsque cet organe est distendu par le développement de l'œuf; il est à remarquer que ces tubérosités sont les seuls endroits où s'implantent les placentas nombreux du fœtus. L'exo-chorion, encore recouvert par l'épiône, devient plus rouge dans les endroits où il correspond à ces tubérosités; il paraît que ses vaisseaux se développent et que les rudiments du placenta se forment en vertu de l'irritation que produit sur l'exo-chorion la compression de ces tubérosités. Bientôt après, l'épiône étant exfoliée, et les vaisseaux de l'exo-chorion ayant percé l'*épiderme* qui recouvre ce dernier, l'adhérence des placentas à la matrice s'opère par le moyen d'une foule de *digitations* ou d'espèces de racines qui sont plongées dans le tissu de la matrice, laquelle se développe et se boursoufle pour les envelopper. Au reste, dans les premiers temps, l'adhérence des placentas à la matrice ne paraît point différente de celle des racines d'un arbre à la terre. Les *racines* des placentas sont baignées par un fluide laiteux qu'on exprime par la pression des tubérosités de la matrice, et qui paraît être l'aliment destiné à être absorbé par ces *racines*.

Mes observations m'ont prouvé que le développement du canal intestinal s'opère chez le fœtus de la brebis de la même manière que chez le têtard, c'est-à-dire qu'il s'allonge graduellement en diminuant de diamètre; je l'ai vu, d'abord gros et droit, devenir très-grêle et disposé en circonvolutions; c'est une preuve de plus à ajouter à celles qui démontrent l'invariabilité et l'universalité des lois de la nature vivante.

L'analogie de la vésicule ombilicale avec le vitellus de l'œuf des oiseaux est connue depuis longtemps; ils reçoivent l'une comme l'autre les vaisseaux omphalo-mésentériques et leur position est la même dans l'œuf; mais avant mes observations on ignorait que cette vésicule fût un appendice latéral de l'intestin grêle, exactement de la même matière que cela a lieu pour le vitellus. M. Oken d'Iéna avait, il est vrai, déjà annoncé que la vésicule ombilicale tenait à l'intestin du fœtus par un pédicule, mais il prétendait que ce pédicule aboutissait à l'extrémité du cœcum, duquel elle se détachait ensuite. Cette assertion fût formellement contredite par MM. Hochstetter et Emmert qui nièrent même tout à fait que la vésicule ombilicale fût liée à l'intestin par un pédicule. Ce fait anatomique étant fort important, j'ai mis tous mes soins à le constater par un grand nombre d'observations; et afin que tout le monde pût le vérifier avec facilité, je déposai en 1817 dans la galerie d'anatomie du Muséum d'histoire naturelle de Paris, deux préparations conservées dans l'alcool qui font voir cette adhérence de la vésicule ombilicale à la partie latérale de l'intestin grêle chez le fœtus de la brebis. Je suis le premier qui ait prouvé ce fait par rapport à un fœtus de mammifère.

L'analogie parfaite qui existe entre les organes et les membranes fœtales chez le poulet et chez le fœtus de la brebis, ne permet pas de douter que chez ce dernier la respiration et la nutrition ne s'exécutent de la même manière que chez le premier. Cette analogie nous fait voir dans

imprimé dans les Mémoires du Muséum d'histoire naturelle, tom. III, p. 98. Mais son auteur, malgré ce qu'il dit dans la lettre ci-dessous, a complétement oublié d'y faire mention de mon travail sur l'œuf de la brebis, quoiqu'il parle de ce même œuf et qu'il en donne la figure. C'est sur ses propres observations seulement qu'il y établit *l'analogie et presque l'identité de structure entre l'œuf des quadrupèdes et celui des oiseaux*.

J'ajouterai ici que M. Coste, dans ces derniers temps, a vu naître la vessie ovo-urinaire chez le fœtus de la brebis, et qu'il a vu cette poche vasculaire envelopper d'une double coiffe le fœtus renfermé dans l'amnios, exactement comme cela a lieu chez le poulet; en sorte qu'il a confirmé par une observation directe les résultats auxquels j'étais parvenu au moyen de l'observation des traces de cet enveloppement antérieurement opéré, traces qui étaient encore subsistantes chez les fœtus un peu plus âgés que j'ai étudiés.

les uns comme chez les autres la vessie développée envelopper extérieurement l'amnios, et former ainsi les membranes vasculaires qui servent à la respiration et à la nutrition du fœtus, de sorte que les vaisseaux ombilicaux ne sont qu'un développement particulier des vaisseaux de la vessie. Mais il est très-probable que, chez les mammifères comme chez les oiseaux, la vessie n'arrive que secondairement à remplir ces fonctions primitivement départies à la vésicule ombilicale, l'analogue du vitellus. En effet, l'état d'injection et de rougeur extrême, où j'ai trouvé les vaisseaux de la vésicule ombilicale chez le fœtus de la brebis, ne permet guère de douter que cet organe n'ait servi à des fonctions importantes, et spécialement à la respiration du fœtus dans les premiers temps de son existence, comme cela a lieu pour les vaisseaux du vitellus chez le poulet.

§ II. — *OEuf des carnassiers.*

L'œuf des mammifères carnassiers, sphérique dans le principe, est entouré par le placenta de tous côtés, excepté dans les deux points opposés, par lesquels il n'est pas en contact avec les parois de l'utérus tubuleux, qui est contracté sur lui. Ces deux points correspondent ainsi à l'axe du tube que forme l'utérus : c'est sur ces deux pôles de l'œuf seulement qu'il n'existe point de placenta. L'œuf, en prenant de l'accroissement, développe considérablement ces deux parties polaires dépourvues de placenta, et les allonge de manière à donner à l'œuf une forme ovale. Il en résulte que le placenta cesse d'être périphérique; il prend la forme d'une ceinture ou d'une zone, qui entoure l'œuf selon son petit diamètre. La fig. 5 (pl. 26) offre la coupe idéale et dans le sens du grand diamètre de l'œuf du chat ainsi développé. On voit en *bb* la coupe transversale du placenta, formé par le développement en épaisseur d'une partie de l'exo-chorion *dd*. On voit en *ii* l'endo-chorion. Ce sont les deux enveloppes vasculaires du fœtus, enveloppes évidemment analogues à l'exo-chorion et à l'endo-chorion de l'œuf des oiseaux et des serpents, car c'est dans leur intervalle qu'est de même épanchée l'urine du fœtus, intervalle qui constitue la cavité de la poche ovo-urinaire. On verra plus bas qu'elles reçoivent les mêmes vaisseaux, ce qui achèvera de démontrer leur analogie. L'amnios *gg*, immédiatement situé sous l'endo-chorion, lui devient intimement adhérent après l'époque du milieu de la durée de la gestation. La vésicule ombilicale *o*, triangulaire et contenant un fluide jaunâtre, est comprise dans une plicature de l'endo-chorion *ii*, avec lequel elle ne contracte jamais d'adhérence. En dehors de l'exo-chorion *dd* on observe une couche membraniforme opaque, jaunâtre, *aa*, qui se détache facilement en lambeaux de peu de consistance. Cette membrane extérieure, que j'ai indiquée dans la figure par une ligne formée de traits séparés, est l'analogue de celle que j'ai désignée sous le nom d'*épiône* dans l'œuf de la brebis. Quelle est l'origine de cette couche membraneuse ? Elle serait l'analogue de la membrane de la coque de l'œuf des oiseaux; si elle était, comme elle, le résultat d'une sécrétion particulière de l'organe éducateur. Or, voici ce que j'ai observé à cet égard. L'épiône, dans l'œuf du chien, offre une particularité fort remarquable : elle est de couleur verte dans le voisinage des deux bords du placenta, qui entoure l'œuf comme une zone. Cette matière verte étant enlevée de dessus l'œuf, on s'aperçoit qu'il existe un peu de cette matière verte dans les mailles du tissu des deux parties latérales du placenta que cette matière recouvrait, parties latérales qui vont en s'amincissant graduellement pour se confondre avec l'exo-chorion. Cette observation permet de penser que la matière verte qui forme ici une portion de l'épiône serait le résultat d'une excrétion particulière fournie par les rives du placenta, et cela prouverait que l'épiône tout entière serait le résultat d'une sécrétion opérée par l'exo-chorion, et que par conséquent elle ne devrait pas

son existence à une sécrétion opérée par l'utérus. On verra plus bas ce soupçon, déjà très-fondé, se changer en certitude. Ainsi l'épiône de l'œuf des mammifères n'est point l'analogue de la membrane de la coque de l'œuf des oiseaux, bien que sa position soit la même.

L'exo-chorion *dd* (fig. 3, pl. 26) et l'endo-chorion *ii* offrent une structure semblable : seulement l'endo-chorion est beaucoup plus mince que l'exo-chorion. Tous les deux offrent des vaisseaux sanguins ramifiés, entre deux membranes *épidermoïdes*. La membrane épidermoïde interne de l'exo-chorion, et la membrane épidermoïde externe de l'endo-chorion forment ce que les zootomistes nomment l'*allantoïde*. C'est sous ce nom que ces membranes sont désignées par G. Cuvier dans son *Mémoire sur les œufs des quadrupèdes*. A ce sujet il est une réflexion à faire. Chez tous les fœtus des quadrupèdes la cavité des enveloppes fœtales qui sert de réservoir à l'urine du fœtus et qui communique avec la vessie, est tapissée intérieurement par une membrane épidermoïde qui, après avoir revêtu la face interne de l'exo-chorion, se réfléchit sur l'endo-chorion dont elle revêt la face externe. C'est à cette seule membrane épidermoïde que l'on a donné le nom d'*allantoïde*. Or, chez les carnassiers, par exemple, il est évident que cette membrane n'existe point comme un organe à part; elle est une dépendance de l'exo-chorion et de l'endo-chorion qu'elle revêt. Chez les fœtus des ruminants cette membrane épidermoïde, ou cette *allantoïde*, est lâchement unie aux tissus vasculaires qu'elle recouvre, en sorte qu'il a été possible de la prendre pour un organe à part, ainsi que l'ont fait Galien et tous les zootomistes qui l'ont suivi. Quant à la membrane épidermoïde, qui est intimement adhérente en dehors à l'exo-chorion, et que je prenais pour son épiderme extérieur, G. Cuvier en a fait, avec raison, une enveloppe fœtale à part; il la désigne sous le nom de *chorion*. Cette membrane est l'analogue de celle qui revêt en dehors l'exo-chorion de la brebis et que j'ai prise à tort pour son épiderme extérieur [1]. Il résulte de là que l'analogie établie par l'auteur que je viens de citer entre cette enveloppe et la membrane de la coque de l'œuf des oiseaux est dépourvue de fondement.

La face interne de l'endo-chorion *ii* offre une membrane épidermoïde que l'on distingue bien au poli de sa surface. Il serait impossible de constater autrement son existence, car l'endo-chorion étant d'une extrême ténuité, on ne pourrait le diviser mécaniquement. Cette face interne de l'endo-chorion est en contact immédiat avec l'amnios dans la plus grande partie de son étendue, et ne tarde pas à contracter avec lui l'adhérence la plus intime.

La vésicule ombilicale du chat, *o*, est contenue dans une plicature particulière de l'endo-chorion *ii*, dans laquelle se trouve aussi compris le cordon que forment les vaisseaux ombilicaux et le canal de l'ouraque. Ce dernier s'ouvre à la surface externe de l'endo-chorion. Celui-ci se réfléchit de chaque côté au sommet de la vésicule ombilicale, pour se continuer avec l'exo-chorion. Pour se faire une idée de cette réflexion, il suffira de jeter les yeux sur la fig. 4, pl. 26, qui représente la coupe idéale de l'œuf du chat, faite par le milieu de la zone du placenta *bbbb*, qui n'est autre chose que l'exo-chorion dont le tissu vasculaire est développé et augmenté en épaisseur. On voit comment l'endo-chorion *iiii*, parvenu au sommet de la vésicule ombilicale *o*, qui est vue ici dans le sens de son aplatissement, se réfléchit de chaque côté pour se continuer avec l'exo-chorion. Ainsi la vésicule ombilicale est partout située sous l'endo-chorion, et en cela sa position est tout à fait analogue à celle que possède le vitellus dans l'œuf des oiseaux et des serpents. On peut voir dans la fig. 2, pl. 24, que, chez ces derniers, le vitellus est effectivement situé immédiatement sous l'endo-chorion; il n'y a de différence dans l'œuf des carnassiers que le prolongement particulier de l'endo-chorion, qui sert à envelopper la vésicule

[1] Voyez ci-dessus la note 2 au bas de la page 419.

ombilicale analogue bien reconnu du vitellus.

Jusqu'ici j'ai établi une analogie bien évidente dans la nature et dans la disposition des enveloppes fœtales des mammifères et des serpents ou des oiseaux; je poursuis les autres points de similitude.

Les artères ombilicales sont, chez les oiseaux, au nombre de deux; elles naissent des artères iliaques primitives et se portent à l'exo-chorion et à l'endo-chorion, dans lesquels elles se distribuent. Chez les oiseaux, il n'y a qu'une seule veine ombilicale, laquelle, ayant ses rameaux dans l'exo-chorion et dans l'endo-chorion, vient se rendre dans la scissure du foie. Chacun sait que les vaisseaux ombilicaux du fœtus des mammifères ont exactement les mêmes origines et les mêmes terminaisons; nul doute par conséquent qu'ils ne soient parfaitement identiques avec les vaisseaux ombilicaux des oiseaux, et ceci est une preuve irréfragable de plus de l'identité des enveloppes vasculaires auxquelles ces vaisseaux se distribuent chez les mammifères et chez les oiseaux. Comme il n'y a point d'artères iliaques chez les serpents, les artères ombilicales naissent immédiatement de l'aorte abdominale. Leur veine ombilicale se rend, comme à l'ordinaire, auprès du foie. Ainsi il n'y a dans tout cela qu'un seul plan légèrement modifié, selon la classe à laquelle appartient l'animal. Il existe donc une similitude de structure des plus évidentes entre l'œuf des mammifères carnassiers et celui des oiseaux et des serpents. Cependant il existe entre eux deux différences qu'il est essentiel d'étudier pour savoir à quoi se réduit leur valeur : la première est l'existence du placenta dans l'œuf des mammifères, et son absence dans l'œuf des ovipares; la seconde est relative à la position du point de conjonction, lequel, placé au point *g* (fig. 3, pl. 23, et fig. 2, pl. 24), chez les oiseaux et les serpents, paraît, dans l'œuf des mammifères carnassiers, être placé au point *m* (fig. 4, pl. 20).

Le placenta simple ou multiple de l'œuf des mammifères est engendré par le développement en épaisseur de l'une des enveloppes vasculaires du fœtus; aussi n'existe-t-il point dans les premiers temps du développement de l'œuf des mammifères, ainsi que je l'ai noté dans mes recherches sur les enveloppes du fœtus de la brebis. J'ai vu que ce fœtus avait déjà une longueur de plus de six lignes et l'œuf une longueur totale de plus de six pouces, qu'il n'y avait pas encore de placenta. L'œuf, revêtu en dehors de l'épione sur toute sa surface et parfaitement libre dans l'intérieur de l'utérus, ne puisait les matériaux de son accroissement que dans les fluides sécrétés par cet organe. Ce fait a été confirmé depuis par M. Bojanus [1] qui a confirmé également par ses observations ce que j'avais avancé touchant le pédicule qui, dans le principe, unit la vésicule ombilicale à l'intestin grêle. Plus tard j'ai vu les placentas naître et se développer les uns après les autres par l'augmentation en épaisseur et par le développement vasculaire de certaines parties de l'exo-chorion. Or, j'ai observé que ce développement n'a lieu que dans les endroits où l'œuf se trouve pressé par les tubérosités saillantes dont est garni la surface intérieure de l'utérus de la brebis. Par conséquent la formation des placentas n'est point le résultat du développement d'organes préexistants à l'état d'invisibilité; c'est en quelque sorte un développement *accidentel*, puisqu'il peut avoir lieu sur toutes les parties de l'exo-chorion indistinctement : il suffit pour cela que le hasard fasse correspondre ces parties avec les tubérosités de l'utérus. Je m'arrête sur ces particularités, afin de prouver que le placenta n'existant point originairement comme organe spécial dans l'œuf des mammifères, et n'étant véritablement qu'un développement en épaisseur de l'une des enveloppes vasculaires du fœtus, son existence ou son absence ne doivent point entrer en considération, lorsqu'il s'agit de comparer

---

[1] Sur la vésicule ombilicale du fœtus de brebis, dans le Journal complémentaire du Dictionnaire des Sciences médicales, tom. II, p. 84.

ensemble l'œuf des mammifères et celui des oiseaux sous le point de vue de leur structure fondamentale.

J'aborde la seconde des différences que j'ai indiquées plus haut, celle qui résulte de la position particulière du *point de conjonction* dans l'œuf des mammifères carnassiers. Cette position prouve évidemment que l'enveloppement du fœtus par la double coiffe de la vessie ovo-urinaire ne s'est point fait par un mécanisme exactement semblable chez les mammifères carnassiers et chez les oiseaux ou les serpents. Chez ces derniers, la vessie ovo-urinaire, en se développant graduellement, a enveloppé le fœtus et son vitellus comme un bonnet de nuit d'homme enveloppe sa tête, c'est-à-dire, en leur formant une double coiffe. Chez les mammifères carnassiers, il est évident que le fœtus, revêtu de son amnios et muni de sa vésicule ombilicale, s'est enfoncé dans une dépression profonde de la vessie ovo-urinaire, dont le développement était considérable dès les premiers temps; en sorte que les bords de cette vessie déprimée se sont réunis et soudés en partie au point *m* (fig. 4, pl. 26). C'est ainsi que l'on voit dans les fig. 1 et 2, pl. 24, les fœtus des serpents logés dans une dépression profonde de leur vitellus. Le fœtus enfoncé de plus en plus dans cette dépression de la vessie ovo-urinaire s'en est fait de cette manière une double coiffe qui l'entoure comme un bonnet de nuit d'homme entoure la tête, et lorsque l'enveloppement est devenu complet, le *point de conjonction* s'est trouvé sur l'origine du cordon ombilical, au lieu de se trouver fort éloigné de cet endroit, comme cela s'observe dans l'œuf des oiseaux et des serpents. Ce mécanisme d'enveloppement résulte évidemment de l'inspection de la structure de l'œuf, et il ne diffère, comme on le voit, que très-légèrement du mécanisme d'enveloppement que l'on observe dans l'œuf des ovipares : ce sont deux variétés d'un seul et même phénomène. Ainsi l'observation démontre la plus parfaite analogie de structure, quant au nombre, à la nature et à la disposition des enveloppes fœtales, entre l'œuf des oiseaux et des serpents et celui des mammifères carnassiers.

§ III. — *Œuf de la musaraigne* (sorex musaraneus).

C'est dans le courant du mois d'avril et dans le commencement du mois de mai que l'on trouve des musaraignes dans l'état de gestation. Le fœtus le plus jeune que j'ai eu occasion d'observer n'avait que trois lignes de longueur, et ses quatre membres paraissaient seulement comme des bourgeons charnus. L'œuf, étudié de l'extérieur à l'intérieur, offrait d'abord l'épione sous la forme d'une légère couche comme pulvérulente, appliquée sur l'exochorion. Cette dernière enveloppe était diaphane, fort mince et très-peu vasculaire; elle était immédiatement appliquée sur l'endo-chorion, mais ne lui était point adhérente. L'exo-chorion était continu avec les bords d'un placenta orbiculaire, et là il se réfléchissait par sa face interne pour se continuer avec la face externe de l'endo-chorion situé au-dessous. Celui-ci était très-vasculaire, et d'une superbe couleur verte; on voyait les vaisseaux sanguins, de couleur rouge, se ramifier dans cette enveloppe verte, ce qui offrait un aspect fort agréable. Désirant savoir à quoi tenait cette couleur verte de l'endochorion, j'en soumis des fragments au microscope, et je vis que le tissu de cette enveloppe était diaphane par lui-même, et qu'il ne devait sa belle couleur verte qu'à une matière de cette teinte qui était déposée dans les cellules de son tissu, comme la graisse l'est dans les mailles du tissu cellulaire adipeux. L'existence d'une matière colorante verte dans les cellules d'un organe animal est à coup sûr un phénomène bien singulier, car cette couleur semblait jusqu'ici appartenir exclusivement aux végétaux. La couleur verte, en effet, ne s'observe ordinairement chez les animaux que dans quelques-unes de leurs sécrétions, telles que la bile et le mucus. Ici je dois rappeler que j'ai remarqué une semblable matière verte sur les rives du placenta annulaire du chien. J'ai dit que

cette matière, qui formait l'épiône dans cet endroit, s'observait ainsi dans les mailles du tissu organique de l'exo-chorion. On pouvait penser qu'elle avait été sécrétée par l'utérus, et qu'elle ne se trouvait dans les mailles de l'exo-chorion que parce qu'elle y avait été transportée par l'absorption. Actuellement il m'est prouvé que les enveloppes vasculaires du fœtus sont quelquefois aptes à la sécréter, et à en remplir les cellules de leur tissu. Cela prouve donc que la matière verte qui borde le placenta annulaire du chien est produite par l'exo-chorion, et que c'est par une exsudation de ce dernier qu'elle se trouve déposée à sa surface. Cette observation sert de complément aux preuves précédemment alléguées pour établir que l'épiône est le résultat d'une sécrétion de l'exo-chorion. Mais je reviens à l'œuf de la musaraigne. Au-dessous de l'endo-chorion se trouvait l'amnios, étroitement appliqué sur le fœtus, et soulevé seulement dans quelques endroits. Il était parfaitement libre d'adhérence avec l'endo-chorion; je n'ai pu apercevoir aucune trace de la vésicule ombilicale. Lorsque la gestation est avancée, on ne trouve le fœtus entouré que d'une seule enveloppe de couleur brunâtre. L'exo-chorion, l'endo-chorion et l'amnios se sont soudés intimement, en sorte que la cavité de la vessie ovo-urinaire, cavité qui était située entre l'exo-chorion et l'endo-chorion, a complétement disparu.

§ IV. — *OEuf des rongeurs.*

L'œuf des rongeurs s'écarte considérablement du plan suivant lequel sont disposées les enveloppes du fœtus des autres mammifères. Cet œuf a été décrit d'une manière fort exacte par G. Cuvier, dans son Mémoire sur les œufs des quadrupèdes. Ainsi, je n'ajouterai rien à la description qu'il en a donnée : seulement j'émettrai une opinion différente de la sienne sur l'une des enveloppes de cet œuf.

L'œuf du lapin, observé douze jours après l'accouplement, offre la structure représentée par la fig. 5, pl. 26. Le placenta *o* est divisé en deux couches par un sillon; il reçoit exclusivement les vaisseaux ombilicaux, dans l'intervalle desquels on aperçoit une vésicule *i*, qui communique avec la vessie du fœtus, et qui par conséquent est la cavité ovo-urinaire, ou plutôt le reste de cette cavité qui a échappé à l'oblitération. Le reste du pourtour de l'œuf offre extérieurement une couche membraneuse sans vaisseaux *mm*, qui est ici figurée par une ligne ponctuée, et que je considère comme l'épiône : G. Cuvier lui donne le nom de *chorion*. Au-dessous de cette épiône se trouvent deux enveloppes vasculaires superposées et en contact, mais non adhérentes l'une à l'autre, *b c*. La plus extérieure *b* de ces enveloppes, recouverte presque partout par l'épiône, et occupant la place où se trouve l'exo-chorion dans l'œuf des autres mammifères, se glisse sous le placenta, dont elle tapisse la face inférieure; elle se réfléchit ensuite sur le cordon ombilical, pour se continuer avec l'enveloppe intérieure *c*, laquelle, en contact immédiat avec l'amnios *a*, occupe la place où se trouve l'endo-chorion dans l'œuf des autres mammifères [1]. Les deux enveloppes vasculaires dont il est ici question reçoivent exclusivement les vaisseaux omphalo-mésentériques : ainsi nul doute qu'elles ne soient formées par la plicature de la vésicule ombilicale. Il résulte de là que le fœtus, revêtu de son amnios, au lieu d'être enveloppé par la double coiffe formée par la plicature de la vessie ovo-

[1] L'assemblage des enveloppes fœtales du lapin est loin d'offrir l'épaisseur que représente ici ma figure. Les coupes idéales que j'emploie pour qu'on puisse saisir d'un coup d'œil la position des enveloppes du fœtus sont des représentations fort grossières de ces objets. Isolé dans une campagne lorsque j'ai fait ce travail, j'ai été obligé de dessiner moi-même ces figures, je n'ai pu leur donner la perfection que j'aurais pu obtenir d'un dessinateur. Toutefois, et malgré leur imperfection, ces figures sont suffisantes pour donner une idée très-exacte de la situation et des rapports respectifs des diverses enveloppes fœtales.

urinaire, comme cela a lieu chez les autres mammifères, se trouve ici enveloppé par une double coiffe formée par la plicature de la vésicule ombilicale. Le mécanisme de l'enveloppement est le même; mais les deux poches ou vésicules ont changé de rôle. Le fœtus, muni de son amnios, s'est enfoncé dans une dépression profonde de sa vésicule ombilicale, comme on voit, dans la figure 1, planche 24, le fœtus de serpent muni de son amnios enfoncé dans une dépression profonde de son vitellus. La vessie ovo-urinaire, saillant hors de cette dépression, comme on le voit de même dans la figure 5, pl. 26, n'a pas étendu plus loin son développement; elle s'est oblitérée dans cette position, et dans son état d'aplatissement ses deux parties inférieure et supérieure contiguës se sont soudées, et ont formé le placenta *o* composé de deux couches, tel qu'on l'observe chez le fœtus du lapin. L'analogie est ici tellement évidente, qu'il est difficile de se soustraire aux conséquences théoriques que j'établis ici. La partie *i* de la vessie ovo-urinaire n'est autre chose que le reste de cette vessie qui a échappé à l'oblitération. Quant à la membrane *mm*, que je considère comme l'épiône, et qui disparaît assez promptement, il serait possible que ce fût une véritable *membrane de la coque:* cela établirait une similitude de plus entre cet œuf et celui des oiseaux et des serpents, considéré dans les premiers temps de son développement. Ce rapprochement très-lumineux a été établi par G. Cuvier, dans son Mémoire sur les œufs des quadrupèdes; je me plais à le reproduire ici, pour rendre hommage à sa justesse. Je dois toutefois faire observer que cet auteur donne ici le nom de *chorion* à une membrane tout à fait différente de celle à laquelle il imposait ce nom dans l'œuf des autres mammifères. Or, ce n'est qu'ici que cet illustre naturaliste se trouve en harmonie avec ses principes. Donnant en effet le nom de *chorion* à la membrane de la coque de l'œuf des oiseaux, il peut, par une conséquence naturelle, appliquer la même dénomination à la membrane non vasculaire qui entoure extérieurement l'œuf des rongeurs, puisqu'il est possible que cette membrane soit l'analogue de la membrane de la coque. Mais l'observation repousse toute espèce d'analogie à établir entre cette dernière membrane et celle à laquelle G. Cuvier impose également le nom de *chorion* dans l'œuf des mammifères carnassiers, ruminants, solipèdes et pachydermes. En dehors du prétendu *chorion*, G. Cuvier admet, dans l'œuf du lapin, une *membrane caduque :* ce n'est dans le fait qu'un mucus jaunâtre, qui remplit toutes les parties de l'utérus non occupées par les œufs, et qui recouvre ces derniers dans toute la portion de leur surface qui n'est pas occupée par le placenta. C'est tout simplement une sécrétion de l'utérus, qui n'affecte point la forme d'une couche membraneuse.

Il résulte de ces diverses observations et des inductions analogiques auxquelles elles ont conduit, que le fœtus des mammifères, des oiseaux et de plusieurs reptiles possède dans le principe deux vésicules saillantes hors de son abdomen: l'une est la vésicule ou la vessie ovo-urinaire; l'autre est la vésicule ombilicale, autrement le vitellus. Suivant certaines circonstances déterminantes, le fœtus, entouré de son amnios, s'enveloppe d'une double coiffe, formée par la plicature de l'une ou de l'autre de ces deux vésicules, laquelle l'entoure ainsi de deux enveloppes vasculaires qui se réfléchissent l'une sur l'autre, à peu près de la même manière qu'un bonnet de nuit enveloppe la tête d'une double coiffe. Comme la vessie ovo-urinaire est un prolongement de la vessie, il en résulte que l'exo-chorion et l'endo-chorion sont engendrés par une extension de la vessie du fœtus, et que les artères ombilicales qui portent les matériaux de la nutrition à ces enveloppes fœtales sont véritablement des artères vésicales: aussi, chez les très-jeunes fœtus des quadrupèdes, trouve-t-on toujours les artères ombilicales, à leur origine, contenues dans les parois mêmes de la vessie urinaire. Au reste, les observations recueillies jusqu'à ce jour prouvent que

ces vaisseaux sont seuls aptes à s'enraciner dans l'utérus, pour y puiser les matériaux nécessaires à leur nutrition. On n'a point encore vu les vaisseaux omphalo-mésentériques remplir cette fonction; peut-être des observations dirigées sur un plus grand nombre de familles de quadrupèdes prouveront-elles un jour que cette exclusion n'est point générale. Les faits que je viens d'exposer ne laisseront, je l'espère, subsister aucun doute sur l'analogie qui existe entre l'œuf des quadrupèdes ruminants carnassiers et plantigrades, et l'œuf des oiseaux et des serpents. L'œuf des pachydermes et des solipèdes n'en est pas non plus essentiellement différent. Quant à l'œuf des rongeurs, son anomalie apparente se laisse ramener très-facilement à l'analogie fondamentale. Il résulte de cet ensemble de faits que les oiseaux, les reptiles ophidiens et sauriens et les quadrupèdes mammifères, ne présentent dans leur œuf qu'une seule et même structure fondamentale diversement modifiée. Quant à l'œuf humain, sur lequel j'ai autrefois jeté quelques regards et sur lequel j'ai émis quelques opinions différentes de celles qui sont actuellement admises, je crois devoir renoncer ici à m'en occuper. Je n'ai eu que deux occasions d'étudier cet œuf ou conservé dans l'alcool ou à l'état frais, et dans l'un et l'autre cas trop âgé pour qu'il fût possible d'émettre des idées bien positives sur la nature de ses enveloppes. Ce point fort obscur de la physiologie humaine est débattu par les hommes scientifiques que leur position met à même de pouvoir fréquemment observer cet œuf, lequel, j'en ai la ferme conviction, possède une structure analogue à celle de l'œuf de la plupart des autres mammifères, et se trouve soumis au même mode d'enveloppement. Mes observations incomplètes sur cet objet n'ayant rien ajouté à la science, à proprement parler, puisqu'elles n'aboutissent qu'à établir des probabilités qui peuvent être en partie démenties par l'observation directe, je m'abstiens de les reproduire ici.

XIX.

OBSERVATIONS

SUR L'OSTÉOGÉNIE,

ET

SUR LE DÉVELOPPEMENT DES PARTIES VÉGÉTANTES DES ANIMAUX [1].

L'évolution des êtres organisés se présente à l'observation sous deux aspects différents ; tantôt on observe l'apparition de parties nouvelles, tantôt on voit des parties toutes formées augmenter de volume et de masse par développement. Les animaux nous offrent ces deux modes d'évolution. Dans les premiers temps de leur existence, ils s'accroissent par l'apparition de parties nouvelles; lorsque ce mode d'évolution a complété leur être, ils n'éprouvent plus que le développement de totalité. Ainsi, il y a deux phases bien distinctes dans l'évolution des animaux : dans la première, les parties prennent la forme et l'organisation qu'elles doivent posséder : c'est l'*évolution formatrice ;* dans la seconde, les parties, complétement douées de leur forme extérieure et de leur organisation intérieure, augmentent simplement de masse : c'est le *développement proprement dit*. L'étude de l'évolution formatrice est encore neuve en physiologie. L'*organogénie* est une science presque tout entière à créer; chez les animaux on n'a guère observé d'une manière exacte que la formation des os, encore les observations faites sur cette matière laissent-elles beaucoup à désirer.

Les recherches de M. Serres, sur l'ostéogénie, ont appelé l'attention des physiologistes sur cette partie si obscure de la science des corps vivants. Mais cet habile observateur n'a pas étudié les phénomènes de l'origine des os dans toute leur étendue; il a cherché à déterminer le nombre des pièces osseuses dont les os sont primitivement composés, et la position de leurs points d'ossification; mais avant que ces points d'ossification se manifestent à l'observation, il existe des phénomènes d'ostéogénie extrêmement remarquables. Les os existent à l'état gélatineux avant de devenir solides par l'addition du phosphate calcaire; c'est dans cet état primitif qu'il faut les observer, si l'on veut acquérir des notions exactes sur les phénomènes de leur formation. La connaissance du nombre et de la position

[1] Ce Mémoire a été publié en 1822, dans le tome xcv du Journal de physique, p. 161. J'y ai fait quelques additions.

des points d'ossification est importante sans doute, mais elle n'apprend point le mode d'origine des os; puisqu'il est vrai que ceux-ci préexistent sous l'état gélatineux au dépôt du phosphate calcaire dans leur tissu. J'ai donc cru devoir donner à mes observations une direction différente. L'apparition des points d'ossification ne m'a paru qu'un phénomène secondaire ; je me suis spécialement attaché aux phénomènes primitifs, à ceux que présente la formation des os sous l'état gélatineux. Ce sont ces phénomènes que j'entreprends d'exposer ici; mais avant d'entrer dans leur exposition, je dois offrir quelques considérations préliminaires.

Toutes les parties du corps animal qui deviennent solides par l'addition du phosphate calcaire ne sont pas des *os*, à proprement parler, car on ne doit donner ce nom qu'aux organes originairement destinés par la nature à former la charpente solide du corps. Ne serait-ce pas, par exemple, abuser des mots que de donner le nom d'*os* aux ligaments, aux tendons ou aux artères, lorsque ces organes acquièrent de la solidité et de la dureté par le dépôt du phosphate calcaire dans leur tissu? Il est donc indispensable de désigner ces parties, que leur solidité assimile aux os, par un nom particulier, afin d'éviter les idées fausses qui naissent trop souvent de l'abus des mots. Je diviserai donc les parties rendues solides par le phosphate calcaire en deux classes : 1° les os proprement dits; 2° les *ostéides*[1]. L'observation prouve qu'il y a des *ostéides* qui font constamment partie du système osseux dans son état de perfection, et des *ostéides accidentels*; ces derniers sont *morbides* ou *séniles*, il n'entre point dans mon plan de m'en occuper.

Les os se forment par une sorte de végétation ; si ce phénomène n'a pas encore été aperçu, c'est qu'il s'opère avant que ces organes soient assez développés pour être faciles à observer. Cette végétation n'est point apercevable chez les animaux à sang chaud, mais on la voit chez les reptiles, et notamment chez la larve de la salamandre aquatique, et chez les têtards des batraciens. C'est seulement sur ces animaux que j'ai fait les observations d'ostéogénie que je vais exposer; mais auparavant je dois rendre compte des moyens d'investigation que j'emploie dans ces recherches d'anatomie délicate.

Les animaux, encore fort petits, qu'il faut observer pour étudier les phénomènes de l'ostéogénie, se prêtent bien difficilement à la dissection par les seuls moyens que l'on emploie ordinairement. J'ai donc été dans la nécessité d'avoir ici recours à un procédé nouveau. Je plonge le petit animal, ou celle de ses parties que je veux étudier, dans une dissolution peu concentrée de potasse caustique (*hydrate de potasse*), et je l'y laisse un certain temps. L'action de cet alcali dissout les parties les plus molles ou les rend plus faciles à détacher des parties plus solides, que l'alcali attaque peu ou n'attaque point du tout. Alors je transporte l'animal ainsi préparé dans un vase rempli d'eau pure, et je le fixe avec des épingles au fond de ce vase que recouvre une couche de cire. Par ce procédé la dissection de ces objets délicats devient plus facile. Avec des pinces très-fines et un scalpel très-aigu, on enlève facilement les parties molles à demi liquéfiées par l'action de l'alcali, et l'on obtient ainsi les os à l'état complétement gélatineux. On peut les suivre ainsi dans toutes les phases de leur évolution. C'est ainsi que j'ai fait les observations suivantes.

Les os que l'on aperçoit les premiers d'une manière distincte chez la larve de la salamandre aquatique, sont les corps des vertèbres; ils se présentent sous la forme représentée par la figure 1 (pl. 27), chacun d'eux est composé de deux petits cônes creux et tronqués *bb*, opposés par leur sommet; ils ressemblent en cela aux corps des vertèbres des poissons. Je donne à ces os le nom générique d'*os di-*

[1] Mot dérivé par contraction de *ὀστέον*, *os*, et de *εἶδος*, *forme* ou *figure*.

cônes [1]; j'aurai occasion de les observer ailleurs. La moelle épinière, dépourvue de toute enveloppe osseuse, est située à la partie postérieure de la colonne vertébrale, uniquement formée par la série longitudinale des os dicônes dont je viens de parler. L'aorte est située à sa partie antérieure.

Si on suit les progrès de l'accroissement de ces petits os dicônes, on voit qu'ils s'allongent de chaque côté par une véritable végétation de leurs deux orles opposés, et qu'en même temps ces orles s'évasent; bientôt on voit naître sur leur corps des végétations osseuses qui diffèrent dans les diverses régions de la colonne vertébrale. Je vais les étudier d'abord dans la région caudale, bien que ce soit dans cette région qu'elles sont le plus tardives à se développer.

On voit paraître sur chaque os dicône ou corps de vertèbre deux petits bourgeons cartilagineux *ii* (fig. 2); ils s'accroissent par un développement végétatif. Les tiges cartilagineuses qui en émanent se courbent en arc sur la moelle épinière, comme on le voit dans la figure 3, où la vertèbre est vue d'avant en arrière : *a* cavité de l'os dicône; *bb* productions cartilagineuses qui enveloppent la moelle épinière, laquelle est située dans leur intervalle *c*. Ces productions cartilagineuses, comme on le voit, naissent sur deux points de la partie latérale et postérieure de l'os dicône; plus tard on voit naître, sur la partie antérieure et médiane de ces mêmes os, deux nouvelles productions *dd* (fig. 4), lesquelles tendent à envelopper l'artère située dans leur intervalle; plus tard encore, on voit que les productions cartilagineuses qui enveloppent la moelle épinière, se joignent et forment, en se soudant l'une à l'autre, un canal complet à cette dernière comme on le voit dans la figure 6. Ces productions cartilagineuses, qui à leur naissance étaient cylindriques, n'ont point tardé à s'aplatir et à former ainsi une lame qui s'ossifie promptement. La figure 5 représente, vue de côté, la même vertèbre que l'on voit d'avant en arrière dans la figure 4. Telle est la génération des lames des vertèbres; avant que leur réunion soit complète, on voit naître les apophyses transverses *ii* (fig. 6) dont les bourgeons producteurs ne sont point situés sur l'os dicône, mais bien sur la partie externe des lames des vertèbres.

Les vertèbres dorsales et lombaires diffèrent des vertèbres caudales en cela qu'elles n'ont point d'apophyses épineuses antérieures et qu'elles possèdent deux apophyses transverses fort courtes de chaque côté. Ces apophyses *ii* sont situées sur ces lames *bb* de la vertèbre (fig. 7); elles sont articulées avec les deux branches d'une côte fourchue, branches qui, dans le principe, paraissent former deux côtes de chaque côté; l'une est fort longue relativement à l'autre, qui ne s'étend que de l'apophyse à la bifurcation. Je n'ai point vu l'isolement parfait de ces deux côtes; elles sont, dans l'origine, réunies à l'endroit de la bifurcation par un faible ligament qui s'ossifie bientôt. Il paraît que ce sont ces deux côtes que l'on trouve isolées chez plusieurs poissons. Quoi qu'il en soit, il est certain que c'est de cette disposition que dérive la double articulation des côtes de la salamandre adulte.

Les os dicônes vertébraux de la larve de la salamandre aquatique sont creux; leur centre, qui n'est point osseux, offre une cavité tubuleuse ou plutôt doublement conique. Peu à peu le progrès de l'ossification obstrue ce canal central dans son milieu, c'est-à-dire à l'endroit où les deux évasements coniques de ce canal sont réunis par leur sommet : l'os dicône vertébral n'offre plus alors que deux cavités cyathiformes isolées qui contiennent une substance gélatineuse ou demi-cartilagineuse. Ces os ressemblent en cela, comme par leur forme générale, aux corps des vertèbres des poissons. Vers l'époque de la métamorphose, on voit s'ossifier une production gélatineuse ou demi-cartilagineuse qui sort de la cavité cyathiforme anté-

[1] Mot dérivé de δὶς, *deux fois*, et de κῶνος, *cône*.
DUTROCHET.

rieure de chaque os dicône vertébral. Cette production osseuse arrondie est une véritable tête articulaire qui pénètre dans l'intérieur de la cavité cyathiforme postérieure de l'os dicône situé au-dessus, et avec lequel elle s'articule. Cette tête articulaire, ajoutée ainsi après coup à la partie antérieure de chaque corps de vertèbre, est une véritable épiphyse semblable en tous points aux épiphyses articulaires des os des membres, ainsi qu'on le verra plus bas. La figure 8 représente une vertèbre dorsale de la salamandre adulte, vue par sa partie antérieure. *a,* os dicône ou corps de la vertèbre; *b,* tête articulaire; *c,* cavité articulaire.

L'évolution des vertèbres est un peu plus facile à observer chez les têtards des batraciens qu'elle ne l'est chez la larve de la salamandre aquatique; aussi suis-je parvenu à voir, chez les têtards, la formation des os dicônes vertébraux, formation que l'on n'aperçoit point du tout chez les salamandres. Le têtard qui se prête avec le moins de difficulté aux observations de ce genre est celui de la grenouille des arbres (*rana arborea*). La peau et les parties molles de ce têtard ont fort peu de consistance, il est par conséquent très-facile à disséquer, surtout à l'aide de la solution de potasse caustique.

La colonne vertébrale du têtard est, dans le principe, un cordon gélatineux ou demi-cartilagineux d'une seule pièce; on n'y remarque aucune trace de division; non-seulement il n'y a point d'os séparés, mais il n'y a point d'os du tout. Ce cordon gélatineux est revêtu par une gaîne fibreuse d'une seule pièce. Derrière lui est située la moelle épinière. Lorsque le têtard a acquis environ l'âge d'un mois, on commence à apercevoir de petites productions ou tiges coniques qui naissent de distance en distance et de chaque côté sur le cordon gélatineux. Ces petites tiges sont les premiers rudiments de l'enveloppe osseuse de la moelle épinière. La figure 9 représente la coupe transversale du cordon gélatineux dans l'un des endroits où il offre les deux tiges coniques dont il vient d'être question : *a,* coupe transversale du cordon gélatineux; *bb,* tiges gélatineuses et coniques qui, par leur développement, tendent à envelopper la moelle épinière située dans leur intervalle *c*. Quelque temps après, les deux tiges gélatineuses *bb* se bifurquent à leur extrémité, comme on le voit dans la figure 10. Plus tard, les deux branches internes courbées l'une vers l'autre, comme on le voit dans la figure 11, se soudent par leurs extrémités au point *c,* et forment ainsi une enveloppe ou plutôt un cercle complet autour de la moelle épinière. Les deux branches externes *dd* forment ce que l'on appelle les apophyses transverses.

Dans les observations qui viennent d'être exposées il n'est point encore question de pièces osseuses. Tout est gélatineux dans les organes dont il est ici question. A ce sujet, il est une cause d'erreur contre laquelle je dois prémunir les observateurs. En enlevant la peau qui recouvre le dos du têtard on trouve une matière crayeuse assez abondante qu'on pourrait prendre pour une substance osseuse encore fort molle; mais il n'en est rien. Cette matière crayeuse, qui est, je pense, du phosphate de chaux, est déposée dans le tissu cellulaire qui environne la colonne vertébrale encore gélatineuse. Elle se trouve là, à ce que je pense, pour être absorbée par les organes gélatineux dont il vient d'être question, et pour servir ainsi à la formation des os auxquels ces organes doivent donner naissance. Ce fait n'est pas le seul qui me fasse penser que les organes ou leurs éléments organiques se nourrissent par l'absorption qu'ils exercent sur les matières que les vaisseaux déposent auprès d'eux.

Ce n'est guère qu'après l'âge de deux mois que l'on commence à apercevoir chez le têtard de la grenouille des arbres un commencement d'ossification dans la colonne vertébrale. En observant à cette époque les tiges gélatineuses dont on vient de voir l'origine, on voit que les branches externes *dd* (fig. 12) se changent, en se solidifiant, en deux os dicônes ayant une épiphyse gélatineuse à chacune de leurs extrémités. Chacun de ces os dicônes est

articulé avec l'extrémité supérieure de la tige *b* et avec l'extrémité inférieure de la branche interne *g*. Cette dernière et la tige *b* deviennent aussi, en se solidifiant, des os tubuleux distincts qui ne sont joints que par le moyen de leurs épiphyses; la tige *b* n'est plus continue avec le cordon gélatineux *a*, comme cela avait lieu dans le principe; elle est articulée avec lui et s'en sépare avec beaucoup de facilité. Ainsi la tige bifurquée qui était d'une seule pièce dans le principe et sous l'état gélatineux se change en trois os distincts en devenant osseuse. La tige *b* et les deux branches *gd* deviennent chacune en son particulier des centres d'ossification. Un phénomène analogue s'observe dans le cordon gélatineux *a* duquel les tiges *bb* sont émanées.

A l'époque que je viens d'indiquer, c'est-à-dire lorsque la tige *b* et ses deux branches commencent à devenir osseuses, on commence aussi à apercevoir deux points d'ossification dans le cordon gélatineux *a* vis-à-vis de chacun des endroits où sont placées les tiges *bb*. Ces deux points d'ossification deviennent de petits arcs osseux *ii* qui se réunissent sur la ligne médiane postérieure du cordon gélatineux au point *o* et qui se soudent dans cet endroit, en sorte qu'un seul arc osseux résulte de leur réunion. Plus tard, deux nouveaux arcs osseux *mm* (figure 13) se manifestent dans le cordon gélatineux *a*; ces deux nouveaux arcs osseux, par le progrès de leur accroissement, viennent se réunir et se souder l'un à l'autre sur la ligne médiane antérieure du cordon gélatineux au point *s*; l'autre extrémité de chacun de ces arcs osseux antérieurs se réunit et se soude aux deux extrémités de l'arc osseux postérieur *i*, lequel, comme on vient de le voir, a été formé précédemment par la réunion de deux petits arcs. Il résulte de la réunion de ces quatre pièces un anneau osseux qui, s'évasant un peu par ses deux bords opposés, devient un petit os dicône qui est le corps de la vertèbre du têtard. Cette formation des os dicônes vertébraux s'opère immédiatement au-dessous du sac ou tube fibreux qui, comme je l'ai dit plus haut, enveloppe complétement le cordon gélatineux dans l'intérieur duquel naissent ces os dicônes. Les diverses portions de ce tube qui correspondent à ces os deviennent leur périoste; les portions de ce tube qui correspondent aux intervalles de ces os, deviennent, à ce que je pense, les ligaments fibreux qui les unissent. Vers le temps où l'on observe la formation complète de l'os dicône vertébral, on voit l'apophyse transverse *d* (figure 13) se souder avec les pièces osseuses *g* et *b*; cette dernière se soude aussi à l'os dicône ou corps de vertèbre sur lequel elle est fixée; ainsi ces diverses pièces osseuses isolées dans leur origine, ne font plus, un peu avant la métamorphose, qu'un organe osseux continu dans toutes ses parties. Vers la même époque, on voit naître sur la branche *g* deux petites proéminences *co* que l'on voit complétement développées dans la figure 14 qui représente une vertèbre de grenouille adulte vue par derrière. Ces proéminences osseuses *co* (fig. 14) sont de véritables apophyses transverses, les unes antérieures et les autres postérieures; les appendices osseux *dd*, que l'on considère ordinairement comme des apophyses transverses, sont de véritables côtes; *i* est l'os dicône vertébral ou corps de la vertèbre; *a*, l'apophyse épineuse; *b*, le canal vertébral. Je viens de dire que l'on doit considérer comme de véritables côtes les longs appendices vertébraux que l'on considère ordinairement comme des apophyses transverses chez les batraciens. En effet, ces appendices osseux ont la forme aplatie des côtes; et, dans l'origine, ils sont articulés avec la vertèbre à laquelle ils se soudent de bonne heure. Cette articulation primitive suffit pour prouver que ce ne sont point des apophyses transverses, mais bien des côtes rudimentaires. Ce fait coïncide avec les observations de MM. Serres et Béclard qui ont fait voir que les apophyses transverses des vertèbres cervicales et lombaires de l'homme sont véritablement des côtes rudimentaires et soudées aux vertèbres. Il résulte de ces observations, qu'il n'y a point originairement d'os

dans la colonne vertébrale des batraciens; elle est d'une seule pièce et complétement gélatineuse dans le principe ; la queue du têtard conserve même cette organisation jusqu'à l'époque de la métamorphose, époque à laquelle elle est entièrement absorbée. Les corps des vertèbres se forment dans ce cordon gélatineux, de distance en distance et les uns à la suite des autres; alors seulement la colonne vertébrale se trouve composée de pièces articulées les unes avec les autres. Ainsi la formation des os est un phénomène tout à fait distinct de celui de la production des tiges gélatineuses; ces dernières naissent et s'accroissent par une véritable végétation : les os se forment ensuite dans leur intérieur et dans leurs diverses parties. Chaque rameau engendre, dans son intérieur, un os particulier, et les tiges elles-mêmes, quand elles ont une certaine longueur, engendrent dans leur intérieur un certain nombre d'os placés les uns à la suite des autres. Ces os sont tous tubuleux dans le principe et leur forme est *dicône*. Cela est évident pour les corps des vertèbres et ne l'est pas moins pour les côtes, qui dans la suite perdent cette forme et deviennent des os aplatis. La formation des os dicônes vertébraux s'opère par la conjugaison de quatre pièces, ce qui confirme la *loi de perforation* établie par M. Serres; sa *loi de symétrie* se trouve également confirmée par ces observations, puisqu'il est certain que les quatre pièces séparées qui forment les corps des vertèbres des batraciens ont deux de leurs points de réunion sur la ligne médiane; mais le célèbre physiologiste que je viens de citer, me semble s'être trop hâté de généraliser les résultats qu'il avait obtenus de ses observations, en affirmant que l'ossification marche toujours des parties latérales vers la ligne moyenne. Chez les grenouilles les côtes deviennent osseuses avant le corps des vertèbres; mais chez les salamandres, les corps des vertèbres sont osseux avant les côtes et avant leurs apophyses transverses; ainsi, il n'y a point de généralités à établir sur l'antériorité de l'ossification des diverses parties; mais on peut établir, comme un fait général, que les branches gélatineuses dont l'existence précède celle des côtes osseuses et celle de l'enveloppe osseuse de la moelle épinière; que ces branches gélatineuses, dis-je, tirent leur origine végétative du cordon gélatineux qui occupe la ligne moyenne et qui doit donner naissance dans son intérieur à la série des os dicônes vertébraux. Celles de ces branches gélatineuses qui sont dirigées en arrière, enveloppent la moelle épinière, et, s'étant jointes à leurs analogues du côté opposé, se soudent sur la ligne médiane postérieure; celles de ces branches gélatineuses qui sont dirigées vers les côtés, donnent naissance aux côtes.

Les os des membres, chez les larves de salamandre et chez les têtards, sont tous des os *dicônes*, qui ne diffèrent véritablement des os dicônes vertébraux que par leur plus grande longueur; ils sont composés de même de deux cônes tronqués opposés par leur sommet. Les deux extrémités de ces os offrent de même des cavités cyathiformes : il n'y a point d'épiphyses; par conséquent ces os dicônes ne sont point articulés; ils sont même quelquefois assez éloignés les uns des autres. L'accroissement qui a son siége dans les orles qu'offrent les deux extrémités de ces os, les rapproche peu à peu les uns des autres. C'est alors qu'on voit paraître les épiphyses qui, chez le têtard, naissent de la manière que je vais exposer.

Si l'on observe avec soin le fémur du têtard, quelque temps avant la métamorphose, on voit sortir des deux cavités cyathiformes de cet os dicône deux productions gélatineuses et arrondies *bc* (fig 15); ce sont les épiphyses naissantes. L'épiphyse inférieure *c* se partage en deux lobes qui sont les deux condyles du fémur. Je crois que la formation de ces deux condyles est due à ce que l'épiphyse *c* molle et gélatineuse se moule dans les deux cavités cyathiformes du tibia *d* et du péroné *f*, qui sont des os dicônes égaux en grosseur, et qui ne développent leurs épiphyses que postérieurement à l'apparition de celles du fémur. Ce qu'il y a de certain,

c'est que les épiphyses réunies du tibia et du péroné viennent se mouler en creux sur les deux condyles du fémur ; ces épiphyses sortent de même de l'intérieur des os dicônes auxquels elles appartiennent. La fig. 16 représente cette disposition : *a*, fémur ; *d*, tibia ; *f*, péroné ; *c*, condyles du fémur ; *i*, épiphyses réunies du tibia et du péroné; *h*, épiphyses inférieures de ces mêmes os qui sortent de même de leurs cavités cyathiformes ; *b*, tête du fémur. L'épiphyse qui forme cette dernière et qui précédemment (fig. 15) ne formait qu'une petite tête contenue dans la cavité cyathiforme supérieure, déborde actuellement cette cavité et enveloppe l'extrémité de l'os comme le chapeau d'un champignon naissant enveloppe son pédicule.

Ces observations apprennent que les épiphyses sortent de l'intérieur des cavités cyathiformes qui sont situées aux deux extrémités des os dicônes. J'ai déjà eu occasion de noter ce fait dans la formation de la tête articulaire des vertèbres de la salamandre. J'ai fait voir que cette tête, *b* (fig. 8), est formée par l'ossification d'une production gélatino-cartilagineuse qui sort de l'intérieur de la cavité cyathiforme antérieure de chaque os dicône vertébral, production que l'on trouve de même dans les vertèbres des poissons, chez lesquels elle ne s'ossifie jamais. La formation des têtes articulaires, ou épiphyses des os dicônes des membres s'opère par un mécanisme exactement semblable. Ainsi, toute articulation est *adventive* jusqu'à un certain point ; sa forme est déterminée par la manière dont se rencontrent les épiphyses à leur naissance. Toutefois, ce rapport des épiphyses des os est sujet à des lois invariables chez tous les individus d'une même espèce ; il est naturel, en effet, que chez eux les mêmes causes amènent les mêmes effets.

Les os du tarse et du carpe s'éloignent ordinairement beaucoup par leur forme, des autres os des membres. Je pense cependant qu'ils sont, comme eux, des os dicônes; mais ils n'ont pas éprouvé le même développement ; ils sont, en quelque sorte, *avortés*. Ce qui me le fait croire, c'est que les deux os du tarse et du carpe sont des os dicônes bien caractérisés chez les têtards. Pour ce qui est de la rotule, il est évident que c'est un *ostéide*, comme le sont les autres os sésamoïdes ; c'est une portion de tendon ossifiée. Il en est de même, des apophyses des os des membres. Ces apophyses n'existent point dans le principe ; le trochanter du fémur, par exemple, n'existe point sur l'os dicône fémoral de la larve de salamandre, bien qu'il soit très-marqué sur le fémur de l'animal adulte. Je pense que ces éminences osseuses sont des adjonctions faites à l'os par l'ossification d'une portion du tendon qui s'implante dans cet endroit. M. Serres a observé que ces apophyses formaient dans l'origine des noyaux osseux séparés de l'os ; cela vient à l'appui de mon opinion.

Tous les autres os des membres, c'est-à-dire les os du métatarse et du métacarpe et les os des doigts, sont tous des os dicônes bien caractérisés chez les grenouilles et chez les salamandres ; ils sont placés les uns à la suite des autres, comme le sont les os dicônes vertébraux ; leurs épiphyses sortent de même de l'intérieur de leurs cavités cyathiformes.

Les grenouilles n'ont que deux os à leur bassin ; ce sont deux iléons qui sont articulés chacun avec une côte. Ces iléons sont, dans le principe, des os tubuleux et dicônes imparfaits ; l'un d'eux est représenté par la figure 17 ; *b*, iléon tubuleux ; *a*, épiphyse inférieure dont l'ossification commence par un petit arc de cercle ; *d*, cavité cotyloïde ; *g*, épiphyse supérieure, articulée avec une côte. Les épiphyses inférieures des deux iléons n'offrent d'abord aucune adhérence mutuelle, mais bientôt elles se joignent et se soudent l'une à l'autre par leur face opposée à celle où se trouve la cavité cotyloïde. Après la métamorphose, les iléons perdent tout à fait leur forme tubuleuse et deviennent des os plats. J'ai déjà fait observer le même phénomène par rapport aux côtes. Il en est de même de l'omoplate qui est un os dicône accompagné d'une épiphyse fort large et aplatie, comme on peut le voir

par la fig. 18 qui représente l'omoplate d'une jeune grenouille. *a*, os dicône ; *b*, large épiphyse aplatie qui reste toujours cartilagineuse ; *c*, portion de la cavité glénoïde. Ces observations apprennent que les os plats sont, comme tous les autres, des os tubuleux et dicônes dans le principe. C'est par un mode d'évolution particulier qu'ils perdent cette forme originelle. Toutefois je n'étends point cette assertion aux os du crâne sur lesquels je n'ai point fait d'observations qui méritent d'être rapportées. Pour ce qui est des os du sternum, ils paraissent être, chez la grenouille, des os dicônes aplatis [1].

Les pattes et la queue des salamandres se reproduisent, comme on le sait, après leur amputation. Si l'on observe cette reproduction sur de jeunes larves qui sont transparentes, on n'aperçoit au microscope aucune trace d'os dans les parties qui se reproduisent ; il n'y a d'abord dans leur centre qu'un organe gélatineux sans divisions apparentes. Les os ne tardent point à se former dans cet organe gélatineux, et ce qu'il m'a été possible d'apercevoir touchant cette formation m'a convaincu qu'elle s'opère, comme celle des os dicônes vertébraux du têtard, c'est-à-dire que des os isolés naissent les uns à la suite des autres dans les diverses parties d'une tige gélatineuse. Comme cette tige gélatineuse est enveloppée par une gaîne fibreuse qui est la continuation du périoste, il en résulte que la reproduction des os commence par une végétation du périoste qui contient une substance gélatineuse dans son intérieur ; c'est un premier phénomène tout à fait distinct du second, qui consiste dans la formation d'os séparés dans les diverses parties de cette tige, ou de cette végétation fibro-gélatineuse qui paraît d'une seule pièce ; mais qui doit cependant posséder les conditions organiques de sa division future.

Les salamandres reproduisent leurs pattes et leur queue autant de fois qu'on les coupe ; non-seulement elles reproduisent leurs pattes lorsqu'on les extirpe entièrement, mais elles reproduisent toutes les fractions de ces membres qu'on leur enlève. Ce phénomène, observé seulement à l'extérieur, a quelque chose de merveilleux, et je dirai presque d'accablant pour l'imagination. On ne pouvait l'expliquer qu'en supposant que ces animaux possèdent un nombre indéfini de germes de pattes, et de germes de toutes les fractions possibles de pattes, qui n'attendent que l'occasion de se développer. Cette hypothèse révolte la raison. Les observations que je viens de rapporter, et celles qui vont suivre mettent à même d'envisager ce phénomène sous son véritable point de vue. Suivons d'abord les phénomènes qui se manifestent lors de la reproduction d'un membre amputé chez la salamandre aquatique (*triton salamandra*). On sait que les pattes postérieures des salamandres aquatiques ont cinq doigts, et que les pattes antérieures n'en ont que quatre. Je crois que c'est ici le pouce qui manque. La reproduction de la patte amputée se manifeste d'abord par la production d'un bourgeon charnu de forme conique. Dans la patte postérieure qui se reproduit, la pointe de ce bourgeon est celle du *doigt médian* ; or, cette pointe est toujours la même, le membre s'accroît en longueur et porte sans cesse cette pointe plus loin. Auprès de cette pointe allongée et du côté interne paraît peu de temps après un nouveau petit bourgeon charnu dont la pointe est celle du *doigt indicateur* qui s'allonge en portant de même plus loin sa pointe qui a paru avant le corps du doigt. Ensuite paraît de l'autre côté du doigt médian un troisième bourgeon charnu qui donne naissance de la même manière au doigt dont l'analogue, chez l'homme, porte le nom de *doigt annulaire* ; un quatrième bourgeon charnu paraît ensuite auprès

[1] Chez le tamanoir (*myrmecophaga jubata*, L.), le sternum est composé de dix os dicônes bien caractérisés et munis d'épiphyses fort minces à chacune de leurs extrémités ; ils sont placés les uns à la suite des autres, comme le sont les os dicônes de la colonne vertébrale et ceux des doigts.

du *doigt indicateur* et à son côté interne; c'est celui dont le développement formera *le pouce*. Enfin au côté externe de la patte paraît un dernier bourgeon charnu dont le développement forme le *petit doigt*. Dans la figure 19 (pl. 27), qui représente la patte postérieure gauche d'une salamandre, les doigts sont numérotés suivant l'ordre de leur apparition et de leur développement. Cet ordre est différent dans la patte antérieure. Chez cette dernière la pointe du bourgeon charnu, par lequel se manifeste d'abord la patte qui se reproduit, est la pointe du *doigt médian*, comme cela a lieu pour la patte postérieure et cela en admettant que c'est le pouce qui manque dans cette patte qui ne possède que quatre doigts. Ensuite naît le bourgeon charnu qui donne naissance au *doigt annulaire*, lequel, par son développement, devient le plus long des quatre doigts. Le bourgeon charnu qui produit le *doigt indicateur*, paraît ensuite. Enfin apparaît et se développe le bourgeon charnu qui produit le petit doigt. Dans la fig. 20, qui représente la patte gauche antérieure d'une salamandre, les doigts sont numérotés suivant l'ordre de leur apparition. En jetant les yeux sur cette figure et sur la figure 19 qui représente la patte postérieure, on remarquera facilement que, pour l'ordre de l'apparition, les doigts considérés par couples, se succèdent de la partie externe vers la partie interne dans la patte de derrière, et qu'ils se succèdent au contraire de la partie interne vers la partie externe dans la patte de devant.

Le mode de développement qui vient d'être exposé pour les pattes de la salamandre aquatique, fait voir que la reproduction du membre amputé se manifeste d'abord par l'apparition de la pointe du *doigt médian*, et que la reproduction de chaque doigt se manifeste d'abord par l'apparition de la pointe de ce doigt, en sorte que le développement marche en s'avançant du côté de l'axe central de l'animal. C'est à ce phénomène que M. Serres a donné le nom de *développement centripète*. Ce phénomène s'observe dans toutes les *parties végétantes* des animaux. Ainsi, chez les larves de salamandres aquatiques, les tiges branchiales cervicales *bb* (figure 9, pl. 25), sont d'abord simples et sans rameaux; elles sont au nombre de trois de chaque côté; ce sont leurs pointes terminales qui ont apparu les premières et elles se sont allongées par un accroissement centripète; bientôt on voit naître successivement et toujours à la base de chacune de ces tiges branchiales, les rameaux tous dirigés en arrière que possèdent ces tiges *bb* (pl. 27, fig. 21). Cette figure très-amplifiée représente l'état des branchies de la larve de salamandre peu de jours après sa sortie de l'œuf. Dans la suite, les tiges branchiales se ramifient beaucoup plus et l'apparition des nouveaux rameaux a toujours lieu à la base de ces tiges branchiales. Ainsi, ce sont les rameaux les plus voisins de cette base qui sont les plus jeunes, ou ceux dont l'apparition est le plus récente; ils sont cependant ceux qui acquièrent le plus de longueur, les rameaux terminaux qui sont les plus anciens sont les plus courts. Si l'on s'en rapportait à cette apparence, en observant ces tiges branchiales seulement dans leur état de développement parfait, on serait naturellement porté à penser que ces tiges se sont accrues et ramifiées comme la tige d'une plante, c'est-à-dire que ce seraient les rameaux terminaux, lesquels sont les plus petits qui seraient les plus jeunes, et l'on conclurait de là, que le développement de ces tiges est *centrifuge*, tandis que l'observation directe montre que ce développement est *centripète*. On sait que c'est de la même manière que se développe le *bois* des cerfs; cette végétation gélatineuse qui devient ensuite osseuse, est de même centripète. Or, on en doit dire autant des tiges gélatineuses par lesquelles commence à se manifester le système osseux des animaux étudiés dans ce Mémoire. Celles de ces tiges qui ont leur base sur l'axe vertébral, partent évidemment de cet axe central, mais c'est leur pointe terminale qui apparaît la première dans cet endroit et qui en est éloignée ensuite par la végétation centripète de leur base;

chacun de leurs rameaux commence de même par montrer sa pointe terminale, laquelle est ensuite éloignée du lieu de son origine par le développement centripète de la base de ce même rameau. Ainsi, dans toutes les parties des animaux qui offrent un développement végétatif ce développement est centripète; cette loi établie par M. Serres est générale. Ici se présente une autre question. Le *développement* des organes est bien évidemment centripète chez les animaux, mais la *formation* de ces mêmes organes est-elle également centripète? Ne serait-il pas possible que ce fussent les parties *formées* les dernières qui fussent les premières à se *développer?* L'observation de ce qui se passe en pareil cas dans le règne végétal, va résoudre cette question. Il est parfaitement certain que les mérithalles les plus âgés sont vers le bas d'une tige végétale et que les mérithalles les plus jeunes sont vers le haut. Ainsi généralement l'ordre de la formation des mérithalles va de la base de la tige vers son sommet; c'est aussi, la plupart du temps, l'ordre de leur développement. Or, il arrive quelquefois que cet ordre du développement des mérithalles est interverti et va du sommet de la tige vers sa base. C'est ce que l'on remarque, par exemple, chez les graminées. Ainsi, l'épi du blé s'observe de très-bonne heure, complétement formé au milieu des enveloppes foliacées qui l'emprisonnent dans le principe, et son développement proportionnel est bien supérieur à celui de la tige ou du *chaume* au sommet duquel il sera situé dans la suite. Or, l'épi n'est autre chose que la terminaison de cette tige composée d'un certain nombre de mérithalles. Il est indubitable que les mérithalles qui sont vers la base de cette tige ou de ce *chaume*, sont les plus anciens et que ceux qui sont vers son sommet, sont les plus jeunes *dans l'ordre des formations;* l'épi lui-même, formé par des mérithalles soumis à un mode particulier de développement, est certainement plus jeune que les mérithalles du chaume; or, il les précède *dans l'ordre des développements*. Les mérithalles supérieurs se développent de même avant les mérithalles inférieurs, et dans chacun de ces mérithalles la partie supérieure se développe avant la partie inférieure, qui acquiert la dernière son développement définitif. Ainsi, en considérant le *collet* comme le centre de la plante, on peut dire que chez les graminées le développement de la tige est centripète. Le même phénomène s'observe chez beaucoup d'autres végétaux. Ainsi, par exemple, chez le lilas (*syringa vulgaris*), les fleurs sont situées vers le sommet d'une branche assez longue et nouvellement produite. Or, en ouvrant le bourgeon qui doit donner naissance à ces fleurs, on les trouve déjà dans un état très-marqué de développement; elles remplissent, pour ainsi dire, à elles seules toute la capacité du bourgeon, et on n'aperçoit point la tige assez longue, à l'extrémité de laquelle ces fleurs seront situées après leur complet développement. Cette tige, composée de plusieurs mérithalles et qui a certainement précédé les fleurs *dans l'ordre des formations*, leur est demeurée postérieure *dans l'ordre des développements*. Ainsi ce sont encore les parties formées les dernières qui se sont développées les premières. Le développement est encore ici centripète. J'ai choisi ces exemples entre mille analogues que l'on pourrait citer par rapport au développement précoce des fleurs dans le bourgeon, et au développement plus tardif des branches ou des pédoncules dont elles occupent les sommets. Les *bourgeons à fleurs*, chez lesquels on observe généralement ce phénomène, diffèrent des *bourgeons à feuilles* en ce que les premiers contiennent une tige dont les formations successives sont arrêtées, ou une tige définitivement *terminée*, tandis que les *bourgeons à feuilles* contiennent une tige dont les formations successives doivent se succéder indéfiniment ou une tige *non terminée*. Chez cette dernière le développement des mérithalles s'opère dans l'ordre de leur ancienneté. Chez la première c'est le contraire. En outre, chaque mérithalle étant terminé par une ou par plusieurs feuilles, ce sont ces dernières qui

apparaissent déjà assez développées dans le bourgeon, tandis que le mérithalle duquel elles émanent n'est point encore apercevable. Il ne se développe que lors de l'évolution du bourgeon; cela provient de ce que le mérithalle est un être à part dont la formation est *terminée dans le bourgeon*; dès lors, c'est sa partie terminale ou la feuille qui se développe la première.

L'application de ces notions au développement des parties végétantes des animaux est très-facile. Le *bois* du cerf qui commence à se reproduire et qui est encore à l'état de *bourgeon charnu* contient probablement toutes les parties de ce bois ramifié, lesquelles encore à l'état invisible n'ont besoin que d'acquérir du développement; c'est une tige *terminée dans le bourgeon*, et par cela même, c'est sa partie terminale qui se développe la première, et le développement continue de s'opérer en marchant du sommet de cette tige ramifiée vers sa base. Son développement est *centripète*, mais sa *formation* a très-probablement été centrifuge, comme cela a lieu pour les tiges *terminées dans le bourgeon* chez les végétaux. J'en dirai autant du bourgeon charnu par lequel commence à se manifester la reproduction d'un membre amputé chez la salamandre. Ce bourgeon contient probablement à l'état d'invisibilité toutes les parties du membre à reproduire; ce membre, l'antérieur, par exemple, considéré spécialement dans son système osseux, est véritablement une tige ramifiée dont l'humérus est le premier *mérithalle* duquel émanent les deux branches qui constituent le cubitus et le radius. Cette tige, dont les premiers rameaux sont enveloppés par une même enveloppe de parties molles, se termine par quatre rameaux qui forment le métacarpe et les doigts; ces rameaux sont composés d'os qui, par leur position les uns à la suite des autres, simulent les *mérithalles* successifs d'une tige végétale. Cette tige ramifiée était *terminée dans le bourgeon*, et de là vient que ce sont ses parties terminales qui se sont développées les premières. Le *développement* ici, comme dans le bois du cerf, a été *centripète*, mais la *formation* a très-probablement été *centrifuge*, comme cela a lieu chez les tiges végétales *terminées dans le bourgeon*. A l'appui de cette théorie j'exposerai ici des analogies fort remarquables qui existent entre ces *tiges animales* qui constituent les membres des animaux vertébrés et les *tiges végétales*.

J'ai fait voir, dans mes *Recherches sur l'accroissement des végétaux*, que les plantes phanérogames sont composées de deux systèmes dont les parties analogues affectent un ordre de superposition inverse. Ainsi, dans le système cortical on trouve de dehors en dedans la médulle corticale, les couches corticales et le liber; dans le système central, on trouve, de dedans en dehors, la médulle centrale, les couches de duramen et l'aubier. Le système cortical possède en outre en dehors un épiderme. Cette opposition binaire de parties analogues se trouve aussi dans les membres des animaux vertébrés. Ils ont un *système cortical* ou *cutané*, et un *système central* qui lui est sous-jacent. Le *système cutané* offre de dehors en dedans : 1° l'épiderme; 2° le corps muqueux susceptible d'acquérir l'état solide, tantôt en prenant la nature de corne ou de gélatine solidifiée, tantôt en prenant la nature gélatino-calcaire. Ce corps solide cutané s'accroît, comme l'écorce des végétaux, par couches qui se superposent de dehors en dedans; 3° le derme, membrane de nature fibreuse dont la face extérieure porte les papilles; 4° le panicule charnu, dont l'existence n'est pas générale; mais qui n'en doit pas moins être considéré comme formant une des parties constituantes du *système cutané*.

Le système central des animaux vertébrés sous-jacent au système cutané, considéré dans les membres, présente de dedans en dehors : 1° la membrane médullaire; 2° le corps osseux qui, après avoir offert primitivement l'état de cartilage ou de gélatine solidifiée, prend de la dureté et de la solidité en acquérant du phosphate de chaux, ce qui le constitue corps gélatino-calcaire; 3° le périoste,

membrane de nature fibreuse; 4° la couche musculaire plus ou moins épaisse, plus ou moins divisée en faisceaux distincts.

Il est facile de voir, par cet exposé, que chez les animaux vertébrés, le *système cutané* et le *système central* sont composés de parties analogues disposées en sens inverse, comme cela a lieu chez les végétaux pour le *système cortical* et le *système central*. Ces deux systèmes de l'animal ont chacun leurs couches concentriques de matière solide, leur couche fibreuse, et leur couche musculaire; ils ont en outre chacun des couches spéciales dont la nature est en rapport avec leur position particulière. Ainsi, le *système cutané* possède l'épiderme, et le système central possède la membrane médullaire et la moelle. Cette dernière substance, de nature graisseuse, et qui est tout à fait centrale, pourrait être considérée comme l'analogue de la sécrétion sébacée que rejette en dehors la peau des animaux [1].

Cette remarquable analogie de structure générale qui se trouve exister entre les *tiges animales ramifiées* qui constituent les membres des animaux vertébrés et les *tiges végétales* est, à mon avis, une forte induction qui doit porter à reconnaître que, chez les animaux et chez les végétaux, les phénomènes de la production des parties végétantes sont soumis aux mêmes lois. Chez presque tous les animaux vertébrés, les membres issus d'un bourgeon charnu, lorsqu'ils sont dans les premiers temps de leur vie fœtale, ne se reproduisent point postérieurement lorsqu'on les ampute; les salamandres seules jusqu'ici ont offert une exception à cet égard. Cela provient de ce que ces reptiles ont reçu de la nature la faculté de produire des *bourgeons charnus adventifs* reproducteurs du membre perdu, tandis que les autres animaux vertébrés sont privés de cette faculté et ne possèdent que les *bourgeons charnus normaux* producteurs une seule et première fois de ces membres. Or, le règne végétal nous offre un phénomène analogue, dans une multitude de circonstances. Ainsi, par exemple, la plupart des arbres jouissent de la faculté de produire des *bourgeons adventifs*; or, cette

---

[1] On peut employer ces considérations à fortifier l'opinion de M. Geoffroy Saint-Hilaire, qui, comme chacun sait, considère les animaux articulés et mollusques comme offrant dans leur structure un renversement complet de la structure des animaux vertébrés. Ce célèbre naturaliste a émis sur cet objet une idée plus lumineuse, lorsqu'il a dit que la position des animaux invertébrés est inverse de celle des animaux vertébrés, en sorte qu'en nommant *ventrale* la face du corps qui regarde le sol sur lequel marche l'animal, et *dorsale* la face opposée, il se trouve que la face *dorsale* des animaux vertébrés est l'analogue de la face *ventrale* des animaux invertébrés, et que la face *dorsale* de ces derniers est l'analogue de la face *ventrale* des premiers. En suivant ce fait dans ses déductions, on sera conduit à reconnaître, avec M. Ampère, que les ailes des insectes, toujours au nombre de deux ou de quatre lorsqu'elles existent, peuvent être les anologues des membres thorachiques et abdominaux des animaux vertébrés, et l'on pourra admettre que ces derniers animaux ont dans certaines parties osseuses de leurs vertèbres des germes de pattes condamnés à ne jamais se developper, et analogues aux pattes des crustacés et des insectes.

M. Geoffroy Saint-Hilaire pense que les parties dures articulées qui forment l'enveloppe des crustacés et des insectes sont un squelette extérieur analogue au squelette intérieur des animaux vertébrés. Cette idée se trouve appuyée par les considérations que j'expose ici. En effet l'analogie des deux systèmes *cutané* et *central* des animaux étant établie, il est facile d'apercevoir dans la prédomination de l'un ou de l'autre l'une des causes les plus remarquables de l'opposition organique qui existe entre les animaux vertébrés et les animaux invertébrés binaires. Chez les premiers c'est le système central qui l'emporte en développement et en importance sur le *système cutané*, lequel est presque généralement réduit en l'état de membrane enveloppante; leur charpente solide et les muscles qui s'y rattachent appartiennent au système central; chez les animaux invertébrés binaires, c'est le contraire: leur *système cutané* offre le maximum de développement et d'importance, et leur système central ou n'existe point visiblement, ou n'existe que d'une manière rudimentaire; leur charpente solide est en dehors; elle appartient au *système cutané*, ainsi que tous les muscles locomoteurs qui s'y attachent. Ainsi les animaux vertébrés et les animaux invertébrés binaires, opposés par leur position réciproquement renversée, sont encore opposés par le développement et l'importance réciproquement inverses de leurs deux systèmes *cutané* et *central*.

faculté est refusée aux arbres conifères qui ne peuvent développer que des *bourgeons normaux*. On voit dans les membres des animaux vertébrés les rameaux du système osseux, qui appartient au *système central animal*, demeurer libres d'adhérence mutuelle au milieu des parties molles, et recouverts par une seule enveloppe cutanée; on voit de même quelquefois chez les végétaux plusieurs *systèmes centraux* libres d'adhérence mutuelle jusqu'à un certain point être enveloppés par une seule et même écorce, ainsi que l'a vu M. Gaudichaud. Cet enveloppement par une même enveloppe cutanée qui est constant et normal pour les os juxta-posés des membres, les doigts exceptés, a lieu même pour ces derniers chez le fœtus du lézard vert, lorsqu'il est encore très-jeune, c'est-à-dire dans les premiers temps de son développement dans l'œuf. Alors on voit les doigts des membres contenus dans une seule et même enveloppe cutanée, comme cela est représenté dans la figure 22 (planche 27) qui est très-amplifiée, et ce qu'il y a de singulier, c'est que cette enveloppe commune possède un vaisseau sanguin *aaaa* qui lui est propre et qui, assez volumineux, paraît seul servir dans le principe à la nutrition du membre; car on n'en aperçoit point d'autres. Ce vaisseau côtoye le membre naissant qui conserve encore extérieurement sa forme de *bourgeon charnu*, et c'est à son enveloppe cutanée que ce vaisseau appartient; artère d'un côté il devient veine de l'autre, et ces deux portions artérielle et veineuse sont continues, ainsi que cela a lieu pour les vaisseaux sanguins des larves de salamandre et des têtards. Ainsi chez le fœtus du lézard vert, le bourgeon charnu producteur du membre naissant prend, sous cet état de bourgeon, un développement bien plus considérable qu'il ne l'est chez les larves de salamandre, et comme il est transparent, on aperçoit facilement au microscope avec un faible grossissement les os complétement formés du membre qu'il contient.

Ces observations ne permettent pas de douter que la *formation* des diverses parties du système osseux et leur manifestation par l'effet du *développement* ne soient deux phénomènes essentiellement différents et qui sont soumis à des lois qui ne sont point les mêmes, en sorte qu'on ne peut point s'appuyer sur le mode du *développement* du système osseux pour en conclure le mode de sa *formation*. Je ne parle encore ici que de l'état gélatineux primitif de ce système; son *ossification* proprement dite est un troisième phénomène dont les lois doivent encore être différentes. Ainsi, en mettant dans une solution peu dense de potasse caustique une colonne vertébrale de poulet pris dans l'œuf avant qu'il y ait aucun point d'*ossification*, cette solution dissout toutes les parties encore fort molles qui entourent cette colonne vertébrale entièrement gélatineuse que la solution de potasse épargne, parce qu'elle est plus solide que les parties qui l'entourent. On voit alors que cette colonne vertébrale possède, dans tous ses détails, la forme qu'elle aura, lorsqu'elle sera complétement osseuse. Tout le travail de *formation* et de *développement végétatif* est fait; il ne faut plus, pour compléter cet appareil osseux, que le dépôt du phosphate de chaux dans son tissu, dépôt qui constitue l'*ossification* proprement dite. Or, cette *ossification* s'opère en suivant les lois découvertes par M. Serres. Dans un os long, par exemple, il apparaît d'abord des faisceaux isolés et longitudinaux de fibres *osseuses* dans la partie externe de son axe gélatineux. Ces faisceaux isolés finissent, par leur accroissement en grosseur, par se joindre latéralement et par former ainsi un tube *osseux* complet, en sorte que ce tube *osseux* se forme *par conjugaison*, suivant l'expression de M. Serres. Or c'est exactement de la même manière que se forme le tube ligneux qui enveloppe la moelle chez les plantes dicotylédones. Dans la partie externe du cylindre formé par la moelle du mérithalle naissant apparaissent des faisceaux isolés et longitudinaux de fibres ligneuses. Ces faisceaux, par leur accroissement en grosseur, finissent par se joindre et forment ainsi, *par conjugaison*, un

tube ligneux complet autour de la moelle.

L'accroissement en grosseur des os longs s'opère par des couches successives qui s'ajoutent à leur partie extérieure et au-dessous du périoste; c'est de la même manière que s'opère l'accroissement par couches successives de l'aubier chez un arbre dicotylédon. Les couches successives et superposées dont les os longs sont composés ne sont point apercevables dans l'état naturel. C'est ce qui a porté Bichat, dans son anatomie générale, à nier formellement l'existence de ces couches, il relègue cette assertion parmi les erreurs physiologiques. Or, cette structure est démontrée de manière à ne laisser subsister aucun doute, en privant l'os de sa gélatine au moyen de la cuisson par la vapeur de l'eau. C'est, comme on sait, un des moyens employés pour faire du bouillon avec la gélatine des os. Ces derniers deviennent alors très-fragiles tout en conservant leurs formes, et lorsqu'on les brise, les accidents de la rupture font apercevoir les couches nombreuses et concentriques dont ils sont composés; ces couches sont extrêmement minces.

Ces observations prouvent qu'il existe une analogie fondamentale entre les animaux et les végétaux sous les points de vue de la *formation*, du *développement végétatif*, de la *solidification* de leurs parties végétantes. Ce rapprochement des phénomènes de *production végétative* qui ont lieu dans les deux règnes, doit servir, non à nous expliquer, mais du moins à nous rendre moins surprenant le phénomène de la reproduction des membres amputés chez les salamandres aquatiques. Le membre reproduit n'étant autre chose qu'une *tige animale ramifiée issue d'un bourgeon animal adventif*, sa reproduction n'est pas plus surprenante que ne l'est celle d'une tige végétale issue d'un bourgeon végétal adventif. Sans doute ces deux phénomènes ont droit à notre admiration, mais on sent que leur rapprochement, en faisant apercevoir là l'existence d'une loi générale, doit faire cesser l'étonnement profond que ne pouvait manquer d'inspirer la reproduction des membres amputés. Il n'y a en effet de surprenant dans la nature que ce qui semble faire exception à ses lois générales.

XX.

RECHERCHES

SUR

LA MÉTAMORPHOSE DU CANAL ALIMENTAIRE

CHEZ LES INSECTES [1].

L'observation nous apprend que le changement surprenant de forme que subissent les insectes, lors de leur métamorphose, ne porte pas seulement sur leurs organes extérieurs, il s'étend sur leurs organes internes. Le canal alimentaire particulièrement est, chez l'insecte parfait, si différent de ce qu'il était chez la larve, que Réaumur a pu douter si *un nouvel œsophage, un nouvel estomac, de nouveaux intestins* ne prenaient point la place des anciens. Plusieurs naturalistes se sont livrés à la recherche des différences anatomiques qui existent entre les larves et les insectes parfaits; fort peu se sont appliqués à suivre dans les nymphes, les progrès et le mécanisme du changement d'organisation qui s'opère alors. Malpighi, qui a cherché à résoudre ce problème dans sa dissertation sur le ver à soie [2], est tombé dans des erreurs graves. Swammerdam [3] a donné quelques observations sur l'anatomie des nymphes d'un petit nombre d'insectes; mais il n'a point donné suffisamment de suite à ces observations. Ce n'est que sur la nymphe de la chenille épineuse de l'ortie, qu'il a cherché à suivre les progrès de la métamorphose interne, encore ces observations successives, au nombre de trois seulement, ne donnent-elles à cet égard, que des détails insuffisants pour éclaircir parfaitement la question. Aussi Réaumur [4] regardait-il comme non résolu, le problème de la métamorphose intérieure des insectes, lorsqu'il se proposait de faire à ce sujet de nouvelles observations; ce sont ces considérations qui m'ont engagé à me livrer aux recherches que je vais exposer dans ce mémoire. Leur but principal est de montrer le mécanisme de la métamorphose du canal alimentaire chez les insectes de différents ordres. J'ai laissé de côté l'étude des organes de la

[1] Ce Mémoire a été publié en 1818 dans le LXXXVI[e] tome du Journal de Physique, p. 130 et 189.

[2] Dissertatio epistolica de bombyce.

[3] Biblia naturæ.

[4] Mémoires pour servir à l'histoire des Insectes, tome I, page 368.

bouche, et j'ai étudié le canal alimentaire depuis l'œsophage inclusivement, jusqu'à la terminaison anale de l'intestin.

ORDRE DES LÉPIDOPTÈRES.

Ver à soie (bombyx mori, Fabr.).

Malpighi, dans la dissertation citée plus haut, a essayé de suivre dans la chrysalide du ver à soie la métamorphose intérieure de cet insecte; mais il n'a point observé, jour par jour, les progrès de cette métamorphose; il a prétendu que, lors du raccourcissement de l'estomac de la nymphe, l'œsophage se rompait, ce qui supposerait que l'œsophage du papillon ne serait point le même que celui de la chenille. Ce fait était assez important pour mériter d'être examiné avec le plus grand soin; et c'est ce que j'ai fait. J'ai disséqué des vers à soie jour par jour, à partir de l'instant où les insectes commencent à faire leur cocon, jusqu'à celui où ils sortent de l'état de chrysalide pour prendre celui de papillon. Voici les résultats de mes observations.

Le canal alimentaire du ver à soie consiste, comme on le sait, en un œsophage court, suivi d'un vaste et long estomac, après lequel se trouve un intestin droit et fort court. Des vaisseaux biliaires nombreux sont situés à l'origine de l'intestin. L'estomac est, comme on le sait encore, formé de deux tubes emboités sans adhérence mutuelle; le tube extérieur est épais, musculeux et offre intérieurement des villosités; le tube intérieur, qui seul est en rapport avec les aliments, est formé d'une membrane transparente, extrêmement fine, et nullement villeuse. Je suis parvenu à la diviser en deux feuillets; cependant il est bon d'observer que je n'ai pu opérer cette division que chez des vers à soie voisins de l'époque de leur transformation. La figure 1 (pl. 28) représente la forme du canal alimentaire de cette chenille: *a*, l'œsophage; *b*, l'estomac; *d*, l'intestin; *cc*, les vaisseaux biliaires. C'est à l'époque où le ver à soie commence à faire son cocon, qu'il rend par l'anus la membrane qui doublait intérieurement son canal alimentaire; dès ce moment aussi, le vaste estomac de la chenille commence à se contracter, à se concentrer vers le milieu du corps, en allongeant d'une part l'intestin et de l'autre part l'œsophage. En même temps l'estomac commence à se remplir d'une matière blanchâtre; au bout de deux ou trois jours, le cocon est achevé, et la chenille, dépouillée de sa peau, paraît sous la forme de chrysalide. Si on l'ouvre immédiatement après cette transformation, on trouve au canal alimentaire la forme représentée par la figure 2: *b*, est l'estomac déjà fort contracté et rempli d'une matière blanchâtre et pâteuse; *d*, l'intestin allongé aux dépens de sa grosseur; *a*, l'œsophage également allongé aux dépens de sa grosseur; *cc*, les vaisseaux biliaires; les vaisseaux à soie devenus très-ténus sont encore apparents.

Le second jour de la métamorphose en chrysalide, l'estomac est plus concentré que la veille; l'œsophage et l'intestin plus allongés et plus ténus.

Le troisième jour, la concentration de l'estomac est devenue aussi complète que possible; l'œsophage et l'intestin sont devenus d'une extrême ténuité, et leur transparence les rend difficiles à apercevoir; près de l'anus on aperçoit un très-léger renflement de l'intestin; les vaisseaux à soie ont disparu. La figure 3 représente le canal alimentaire de la nymphe à cette époque: *b*, l'estomac rempli de matière pâteuse; *a*, l'œsophage; *d*, l'intestin étendu en droite ligne; *cc*, les vaisseaux biliaires; *i*, léger renflement de l'intestin à son extrémité.

Le quatrième jour l'intestin s'est allongé sans perdre de sa grosseur, et le renflement qui le termine est augmenté; ce renflement est le principe du cœcum.

Le cinquième jour, l'intestin, encore plus allongé, offre des replis; il a perdu sa transparence, il est devenu blanchâtre. Le cœcum s'est développé de manière à ce que l'intestin s'abouche latéralement dans sa cavité. L'œsophage est devenu un peu plus gros, sans s'être allongé. La fig. 4 représente le canal alimentaire de

la nymphe à cette époque : *b*, est l'estomac qui contient encore un peu de matière pâteuse ; *a*, l'œsophage ; *cc*, les vaisseaux biliaires ; *d*, l'intestin ; *i*, le cœcum.

A partir de ce jour, on n'observe d'autre changement dans le canal alimentaire que le développement en grosseur de l'intestin, et surtout du cœcum, qui se remplit d'un fluide jaunâtre. Le quinzième jour de la transformation, on trouve au canal alimentaire la forme représentée par la figure 5 : *a*, œsophage ; *b*, estomac rempli d'une matière demi-fluide et d'un brun verdâtre; *cc*, vaisseaux biliaires; *i*, cœcum extrêmement volumineux, distendu par un fluide d'un jaune obscur, dans lequel est délayée une substance d'apparence crayeuse ; cette substance remplit également l'intestin *d*, lequel s'insère au milieu du cœcum. A la suite de ce dernier se trouve le rectum *o* extrêmement court. L'insecte voit le jour sous la forme de papillon, de quinze à dix-huit jours après sa transformation en chrysalide. A peine est-il né, qu'il rend par l'anus les fluides qui remplissaient son cœcum et son estomac ; ces organes diminuent par conséquent de volume, et c'est la seule différence qui existe entre le canal alimentaire du papillon et celui de la nymphe représentée par la figure 5.

Réflexions.

Ces observations prouvent que le canal alimentaire du papillon est formé par des modifications diverses des différentes parties du canal alimentaire de la chenille. Il n'est point vrai que l'œsophage se rompe, ainsi que l'a rapporté Malpighi ; seulement il devient si ténu et si transparent, qu'il peut se dérober aux regards, et il en est de même de l'intestin. Telle est probablement la cause de l'erreur de Malpighi.

ORDRE DES NÉVROPTÈRES.

Fourmi-lions (myrmeleon formicarium, Fab.).

Je n'ai point suivi jour par jour les changements qui surviennent dans le canal alimentaire de la nymphe du fourmi-lion, jusqu'à ce qu'elle donne le jour à l'insecte parfait; je me suis contenté de recueillir une certaine quantité de boules de sable qui contiennent ces nymphes, certain que dans le nombre j'en trouverais qui, à raison de leur développement plus ou moins avancé, m'indiqueraient la gradation des changements que subit la larve pour devenir insecte parfait. On sait que le fourmi-lion n'emploie qu'environ trois semaines pour accomplir sa métamorphose. Un nombre peu considérable de nymphes m'a suffi par conséquent pour faire mes observations. J'ai dû commencer par m'instruire de la forme du canal alimentaire de la larve. Ayant donc pris les plus gros des fourmi-lions que j'ai pu me procurer, je les ai rassasiés en leur donnant des mouches à sucer, après quoi je les ai disséqués. Cette dissection demande les plus grandes précautions et un peu de dextérité. Il est extrêmement difficile de mettre à découvert le canal alimentaire, surtout lorsqu'il est rempli, sans l'endommager. La figure 6 offre le canal alimentaire de cet insecte : *a*, est le premier estomac distendu par une gelée de couleur de rose et surmonté de œsophage capillaire que sa couleur rose m'a aidé à suivre dans le col jusqu'à la tête. La couleur rose de cette gelée venait probablement du fluide rouge que contient la tête des mouches que j'avais données à sucer au fourmi-lion. Les parois de ce premier estomac sont transparentes, *b* est le second estomac du fourmi-lion ; il est uni au premier par un canal délié et fort court ; il est rempli d'un fluide noir ; ses parois sont opaques et de couleur jaune; de son extrémité postérieure, qui est très-arrondie, part l'intestin, qui n'a pas une demi-ligne de longueur, et qui est d'une telle ténuité, qu'il est presque inapercevable. Il faut les plus grandes précautions pour ne pas le rompre dans la dissection ; à l'origine de cet intestin, on observe six vaisseaux biliaires également d'une grande ténuité et de couleur blanche. Plusieurs naturalistes, et, en particulier, Réaumur [1], af-

[1] Mémoires pour servir à l'histoire des Insectes, tome VI, page 372.

firment que le fourmi-lion n'a point d'anus et ne rend point d'excréments. Mes observations me portent à me ranger de leur avis. L'intestin est d'une telle ténuité, qu'il est évidemment impossible qu'il admette la matière excrémentitielle semblable à une bouillie noire que contient le second estomac du fourmi-lion. D'ailleurs, dans tous ceux de ces insectes que j'ai disséqués, j'ai toujours trouvé l'intestin également ténu et entièrement vide. La bouillie noire que contient le second estomac de la larve s'observe encore dans celui de la nymphe, preuve qu'elle n'a pu être expulsée ; elle se dessèche peu à peu chez cette dernière, et n'est expulsée en définitive que par l'insecte parfait, ainsi qu'on le verra plus bas. Il me paraît donc prouvé que le fourmi-lion n'a point d'anus; j'exposerai, dans la suite, d'autres exemples de ce fait remarquable.

Parmi les nymphes contenues dans les boules de sable que j'avais recueillies, j'en trouvai qui offraient différents degrés de développement : il était facile d'en juger à l'allongement de leur abdomen et au développement de leurs ailes. En effet, les nymphes avancées sont courbées en arc dans la cavité sphérique qui les contient, et elles sont forcées de prendre cette position par l'effet de l'allongement graduel de leur abdomen; les nymphes peu avancées, au contraire, n'étant pas plus longues que la larve, sont étendues en ligne droite dans la boule de sable, et leur abdomen est assez volumineux. Je disséquai une de ces nymphes, qui me parut très-récemment dépouillée de la peau de larve, et je trouvai le canal alimentaire conforme, comme il est représenté par la figure 7 : *d*, œsophage ; *a*, cavité qui répond au premier estomac de la larve; elle est entièrement vide et sa capacité est fort diminuée; elle est devenue un simple canal ; à sa partie latérale droite existe un prolongement tubuleux, espèce de cœcum *c* qui est également vide. Je me suis assuré, de la manière la plus positive, que ce prolongement n'existe en aucune façon chez la larve, il n'en existe même pas de rudiments; il s'est par conséquent développé chez la nymphe, probablement par une sorte de végétation et aux dépens des parois du premier estomac de la larve. On verra dans la suite un autre exemple de ce phénomène. *b*, est le second estomac reconnaissable, comme il l'est chez la larve, à la couleur jaune de ses parois. Si l'on ouvre ce second estomac en le fendant longitudinalement, on en tire un corps cylindrique et dur, nullement adhérent aux parois de cet organe. Ce corps, ouvert lui-même, se trouve rempli du fluide noir que contenait le second estomac du fourmi-lion; ce corps ressemble parfaitement à un petit œuf; sa coque est blanche et dure. Il est évident que cette coque n'est autre chose que la doublure interne du canal alimentaire de la larve, doublure qui n'a pu être expulsée lors de la métamorphose du fourmi-lion en nymphe, comme elle l'est chez les chenilles lors de la métamorphose en chrysalides. Cette doublure est desséchée; le fluide noir et épais qu'elle contient n'est autre chose que le résidu excrémentitiel de tous les aliments que le fourmi-lion a pris dans le courant de sa vie sous l'état de larve. Au-dessous du second estomac *b*, on aperçoit l'intestin *i* plus développé qu'il ne l'est chez la larve; près de son origine sont les six vaisseaux biliaires qui ont été notés plus haut. Les nymphes plus avancées que je disséquai m'offrirent la forme du canal alimentaire, à quelques différences près, dans les dimensions de ses diverses parties; seulement j'observai que chez les nymphes voisines de la métamorphose, l'appendice aveugle *c* se remplissait d'un fluide verdâtre; il me paraît que cet appendice, de nouvelle formation, est un vaisseau biliaire qui représente, à lui seul, tout l'appareil des vaisseaux biliaires supérieurs qui s'observe chez beaucoup d'insectes. On sait que le fourmi-lion n'est qu'environ trois semaines sous l'état de nymphe; ce temps expiré, il perce la boule de sable qui le renferme, et il paraît au jour sous la forme de demoiselle. Une demi-heure après cette métamorphose, il rend par l'anus le petit corps oviforme que j'ai dit

être contenu dans le second estomac de la nymphe. La forme du canal alimentaire de la demoiselle diffère peu de celle que nous avons observée chez la nymphe. La figure 8 en offre la représentation : *a*, le premier estomac rempli d'air ; *c*, le canal biliaire rempli de bile noirâtre ; *b*, second estomac qui contenait le corps oviforme ; *i*, intestin à l'origine duquel se trouvent les six vaisseaux biliaires inférieurs ; *d*, gros intestin. Il faut observer que la demoiselle sur laquelle cette figure a été dessinée n'avait point pris d'aliments depuis sa métamorphose.

ORDRE DES HYMÉNOPTÈRES.

Abeille (apis mellifera).

Pour étudier les phénomènes de la métamorphose de l'abeille, il m'a suffi de me procurer un gâteau de ruche bien garni de couvain. On y trouve ordinairement des larves et des nymphes de tous les âges ; il est facile ainsi d'observer dans le même moment toutes les gradations des changements qui s'opèrent.

Le canal alimentaire de la larve d'abeille consiste principalement en un sac droit, renflé en massue postérieurement, occupant presque toute la longueur du corps, et rempli d'une bouillie jaune ; c'est l'estomac. De l'extrémité postérieure de ce sac part un fil délié qui est le canal intestinal. Cette seconde portion va aboutir, après quelques flexuosités, à l'extrémité postérieure de la larve. La figure 9 représente la forme de ce canal alimentaire : *b*, œsophage ; *a*, estomac rempli de matières jaunes ; *d*, intestin.

Si l'on divise avec beaucoup de précaution les parois de l'estomac, on s'aperçoit qu'il est composé de deux tuniques superposées sans adhérence. La tunique extérieure est d'un blanc opaque, la tunique intérieure est transparente et extrêmement fine. La tunique extérieure se continue évidemment avec l'intestin. Si l'on fend cette dernière dans toute sa longueur, on tire par cette incision le sac formé par la tunique intérieure, et on voit de la manière la plus évidente que ce sac est sans issue postérieure ; il est libre et flottant dans la cavité formée par la tunique extérieure, et son fond n'envoie aucun prolongement dans l'intestin. La matière alimentaire qu'il contient ne peut, par conséquent, pénétrer dans ce dernier, qui d'ailleurs n'est point encore assez développé pour pouvoir l'admettre. Il résulte de là, que la larve d'abeille n'a point d'anus. Sa cavité alimentaire ne possède qu'une seule ouverture.

J'ai suivi le développement des nymphes d'abeille jusqu'à leur entière métamorphose. Voici comment leur canal alimentaire change de forme. Le long estomac de la larve se concentre peu à peu, et l'œsophage s'allonge ; un étranglement se manifeste bientôt à la partie antérieure de l'estomac ; il sépare les deux estomacs de l'abeille. Les nymphes le plus récemment dépouillées de la forme de la larve n'offrent plus aucune trace de la membrane intérieure qui formait un sac sans issue dans l'estomac de la larve. J'ai trouvé cette membrane encore existante dans les larves déjà renfermées dans leur alvéole ; il paraît donc que la larve s'en dépouille à peu près dans le même temps qu'elle quitte sa peau, et il est évident qu'elle ne peut le faire qu'en la rejetant par la bouche. Cette membrane est l'analogue de celle qui double le canal alimentaire des chenilles, membrane que celles-ci rejettent, comme on sait, par l'anus, peu de temps avant que de prendre la forme de nymphes.

Le canal intestinal de l'abeille existe tout formé dans la larve ; il n'a besoin que de développement. On ne tarde pas à apercevoir les vaisseaux biliaires qui existent à l'origine de l'intestin, et celui-ci offre bientôt deux parties différentes de diamètre, lesquelles sont, l'une l'intestin grêle, et l'autre le gros intestin. Ces parties sont séparées par un léger bourrelet. La figure du canal alimentaire de l'abeille a été donnée par Swammerdam et par Réaumur ; je ne la reproduis ici, figure 10, qu'afin de faciliter sa comparaison avec la figure du canal alimentaire de la larve : *b*, œsophage ; *c*, premier estomac ou vessie à miel ; *d*, second estomac ; *a*, vaisseaux biliai-

res ; *i*, intestin grêle ; *o*, gros intestin. Le canal intestinal est ici représenté déployé; car dans l'état naturel il offre des circonvolutions assez nombreuses.

Guêpe des arbustes (polistes gallica. Fab.).

Cette espèce de guêpe suspend, comme on sait, son petit guêpier aux branches des arbustes. En ayant recueilli plusieurs, j'ai été à même d'étudier toutes les phases de la métamorphose sur les nymphes qu'ils contenaient. La figure 11 représente la forme du canal alimentaire de la larve de cette guêpe : *a*, œsophage fort court ; *b*, vaste estomac suivi d'un intestin court et délié ; celui-ci présente à son extrémité un petit renflement sphérique, *c*. L'estomac est de couleur noire, et il est composé de trois membranes ; l'extérieure est continue avec l'intestin ; celle qui est au-dessous ne lui est nullement adhérente ; elle forme un sac sans ouverture postérieure, et par conséquent elle n'est point continue avec l'intestin ; elle est colorée par un fluide noir qui la lubréfie. Dans l'intérieur du sac formé par cette seconde membrane se trouve un autre sac formé par la troisième membrane de l'estomac : cette dernière, fine et diaphane, est entièrement dépourvue d'adhérence avec la membrane noire qui l'enveloppe. C'est dans son intérieur que sont contenus les aliments. Ainsi le canal alimentaire de la larve de guêpe, comme celui de la larve d'abeille, est dépourvu d'issue postérieure.

J'ai disséqué ensuite des larves déjà renfermées dans leurs alvéoles, et par conséquent sur le point de se métamorphoser. J'ai trouvé l'estomac entièrement vide et dépouillé de ses deux membranes intérieures qui formaient deux sacs emboîtés. L'estomac presque sphérique de la larve s'était un peu allongé, et le canal intestinal commençait à se développer. Dans des nymphes plus avancées et revêtues de la forme de guêpe, j'ai vu l'estomac, graduellement allongé aux dépens de son diamètre, offrir dans sa partie supérieure un étranglement qui le divisait en deux cavités ; la seconde seule était remplie d'une matière grisâtre, ce qui me fait penser que la première n'est autre chose qu'un renflement de l'œsophage. Les vaisseaux biliaires paraissaient à l'origine de l'intestin, lequel se développait aussi graduellement. Le petit renflement sphérique que j'ai observé à la terminaison du canal intestinal de la larve s'était grossi et formait le gros intestin. Enfin, la guêpe nouvellement éclose offrait un canal alimentaire tel qu'il est représenté par la figure 12 : *a*, œsophage ; *b*, premier estomac ; *c*, second estomac ; *d*, intestin grêle, à l'origine duquel sont les vaisseaux biliaires ; *o*, gros intestin. Le premier estomac était vide, le second rempli d'une matière brune, et le gros intestin contenait une matière crayeuse.

Mouche à scie (tenthredo).

Ne trouvant dans les auteurs systématiques aucune espèce à laquelle se puisse rapporter exactement la mouche à scie, qui fait le sujet de cette observation, je prends le parti d'en donner ici la description.

La fausse chenille qui donne naissance à cette mouche vit sur l'aubépine (*cratægus oxyacantha*, Lin.) ; sa taille est à peu près celle du ver à soie ; le fond de sa peau est blanc ; elle offre sur le dos une suite de points noirs disposés en ligne droite ; il y en a un gros et un petit alternativement. De chaque côté du corps sont douze taches jaunes disposées sur une ligne longitudinale, et séparées les unes des autres par des raies noires. Le nombre des jambes est de 22. La mouche à scie qui naît de cette fausse chenille est de la taille d'un frelon et lui ressemble au premier coup d'œil. Ses antennes sont jaunes et en forme de massue ; le corselet noir en dessus est marqué de deux taches jaunes latérales ; l'abdomen est marqué de bandes transversales alternativement jaunes et noires ; les pattes sont noires. D'après ces caractères cette mouche à scie doit être rapportée au sous-genre *cimbex* établi par Fabricius.

Je nourris les fausses chenilles avec les feuilles de l'arbuste sur lequel je les avais trouvées. Le 15 août, quelques-unes d'entre elles cessèrent de manger, et bien-

tôt elles travaillèrent à s'enfermer dans leur cocon, qu'elles placèrent dans les angles de la boîte qui les renfermait, ou sous les branches ou les feuilles que je leur donnais pour nourriture. Ces cocons, de couleur jaune, offraient extérieurement une soie assez grossière et rare, au-dessous de laquelle se trouvait une coque solide, dure et cassante, qui paraissait formée de la même matière que la soie, excepté qu'au lieu d'être filée, elle était appliquée par couches et séchée dans cet état.

J'ai conservé un certain nombre de ces fausses chenilles, renfermées dans leur cocon, depuis le milieu d'août jusqu'au milieu d'avril de l'année suivante, époque à laquelle les mouches à scie sont écloses, ayant été ainsi huit mois entiers à l'état de nymphes. Les fausses chenilles, renfermées dans leur cocon, ont conservé leur forme et leur peau de larve jusqu'au commencement du mois de mars, époque à laquelle elles se sont dépouillées de la peau de chenille pour paraître sous la forme de nymphes. Pendant ce long espace de temps, j'ai disséqué, de loin en loin, une de ces nymphes, n'en ayant pas un assez grand nombre pour en sacrifier à des observations journellement suivies. Voici les résultats de ces observations.

Le canal alimentaire de la fausse chenille en question est représenté par la figure 13 : *a*, œsophage ; *b*, vaste estomac séparé de l'œsophage par un petit renflement ; *c*, gros intestin séparé de l'estomac par un intestin grêle et fort court, à l'origine duquel sont les vaisseaux biliaires, *dd*. L'estomac était ployé longitudinalement, de manière que sur la ligne médiane la paroi ventrale touchait la paroi dorsale : il résultait de cette plicature deux canaux latéraux juxtaposés, dans lesquels était contenue la matière alimentaire. La figure 14 représente la coupe transversale de l'estomac ainsi ployé : *a*, paroi de l'estomac qui correspond au dos ; *b*, paroi correspondant au ventre de la chenille. J'ai disséqué plusieurs de ces fausses chenilles ; toutes m'ont présenté la même disposition. Cet estomac était doublé intérieurement par une membrane fine et diaphane, qui n'était bien visible que lorsque l'époque de la métamorphose approchait. Il y avait deux vaisseaux à soie considérables et remplis d'une liqueur jaune.

Lorsque la fausse chenille s'est renfermée dans le cocon qu'elle s'est fabriqué avec la liqueur de ses vaisseaux à soie, elle se raccourcit considérablement dans le sens de sa longueur. D'abord ployée en deux dans l'intérieur de ce cocon, elle finit par y affecter une position droite, et cela par l'effet de son raccourcissement. Disséquée au bout de cinq jours de reclusion, elle ne m'a offert que des changements peu marqués. La peau de la nymphe s'était déjà détachée en partie de celle de la chenille ; cela était remarquable surtout à la partie postérieure. Il y avait rupture du pourtour de l'anus dans cet endroit, de sorte que l'anus de la nymphe ne répondait plus à l'ouverture qui servait d'anus à la chenille. L'estomac, moins large qu'il ne l'était, n'offrait plus la plicature dont j'ai parlé plus haut ; il était diminué de longueur en vertu du raccourcissement général de la chenille. L'intestin était considérablement diminué de diamètre ; l'estomac contenait un peu de matière brune, et il possédait encore sa doublure intérieure. Au bout de vingt jours de réclusion la fausse chenille, réduite au tiers de sa longueur primitive, était étendue en droite ligne dans son cocon, dont elle occupait toute la longueur. Ayant enlevé la peau de la chenille, j'ai trouvé dessous la nymphe qui ne lui adhérait plus qu'à la tête. Entre cette nymphe et la peau de la chenille étaient les vaisseaux à soie devenus noirs par la dessiccation. Le canal alimentaire était fusiforme, renflé dans son milieu, et terminé en pointe à ses extrémités. L'intestin avait tellement diminué de longueur, qu'il était devenu presque invisible. Dans l'intérieur de ce canal alimentaire, formé presque totalement aux dépens de l'estomac, existait encore dans son intégrité la membrane intérieure que j'ai notée plus haut dans la fausse chenille. Dans l'intérieur de cet estomac se trouvait une

matière brune, peu consistante, accompagnée de quelques bulles d'air et de quelques gouttes d'huile jaune.

Au commencement d'octobre, je disséquai une de ces nymphes recluse depuis deux mois. La forme de la mouche commençait à se manifester; la nymphe ovale s'était étranglée pour former la séparation du corselet et de l'abdomen. On voyait les rudiments des ailes encore molles et blanches. Le canal alimentaire avait la forme représentée par la figure 15 : *a*, œsophage; *b*, estomac rempli de matière brune; *d*, intestin à l'origine duquel on observe les vaisseaux biliaires; *c*, gros intestin. Vers le milieu de novembre je disséquai une autre nymphe recluse depuis trois mois; je trouvai la nymphe un peu plus développée, quoique toujours renfermée dans la peau de la fausse chenille; sa couleur n'était plus aussi blanche : elle commençait à se colorer en jaune et en noir sur quelques points de sa surface. Le canal alimentaire ne différait pas sensiblement de celui qui est représenté figure 15; seulement l'estomac était un peu diminué de diamètre. Ne possédant plus qu'un petit nombre de ces nymphes, je discontinuai de les observer pendant toute la durée de l'hiver, sachant que pendant ce temps le froid suspend presque entièrement chez les insectes le travail de la vie.

Au commencement de mars, je repris mes observations : je trouvai mes nymphes encore enveloppées dans la peau de la fausse chenille. Cependant les mouches étaient presque entièrement développées. J'en disséquai une, et je trouvai l'estomac divisé en deux cavités, fort diminué de diamètre, et courbé à sa partie inférieure. L'intestin grêle était fort allongé, et le gros intestin paraissait près de l'anus comme une bulle sphérique. Je fis une petite ouverture aux quatre cocons qui me restaient; je ne trouvai que deux nymphes vivantes; les deux autres avaient été dévorées par des larves d'ichneumon. Ces deux nymphes se dépouillèrent de la peau de fausse chenille vers la fin de mars; elles continuèrent à rester renfermées dans le cocon jusqu'au 19 avril, alors l'une d'elles en sortit mouche parfaite; la seconde sortit de son cocon six jours après. Je les disséquai et je trouvai leur canal alimentaire conformé comme il est représenté figure 16 : *a*, œsophage; *b*, premier estomac; *c*, second estomac recourbé à son extrémité postérieure; *d*, intestin grêle, à l'origine duquel sont les vaisseaux biliaires; *o*, gros intestin fort court et presque sphérique. Il y avait dans le corselet deux grands sacs aériens qui communiquaient chacun par un canal avec les ouvertures des trachées situées sur les parties latérales du corps.

Réflexions.

Le fourmi-lion nous a offert un premier exemple de larve dépourvue d'anus. Cette disposition était connue des naturalistes, mais on ignorait qu'il en fût de même des larves d'abeille et de guêpe. Réaumur, cependant, avait observé qu'on ne trouve point d'excréments dans les alvéoles où sont logées les larves des abeilles [1]; il paraît donc que la matière dont sont nourries ces larves, est tout alimentaire et ne contient aucune partie excrémentitielle. On sait, en effet, que la matière sucrée possède la propriété d'être alimentaire sans résidu excrémentitiel. Il est aisé de concevoir de même comment le fourmi-lion, nourri de ce qu'il y a de plus délicat dans les fluides animaux, n'a qu'une quantité extrêmement petite d'excréments, qui peuvent, sans inconvénients, s'accumuler dans son second estomac, pour en être expulsés seulement à l'époque de sa métamorphose. Il n'est pas également facile de concevoir comment les larves de guêpe peuvent se passer d'anus. On sait, en effet, que ces larves sont nourries avec des aliments assez grossiers, tels que des fruits, des matières animales, etc., qui doivent nécessairement avoir un résidu excrémentitiel. S'il m'était permis d'émettre à ce

[1] Mémoires pour servir à l'Histoire des Insectes, t. v, p. 576.

sujet une opinion hypothétique, je dirais que ce résidu excrémentitiel est probablement rejeté par la bouche de la larve, et que c'est pour faciliter cette expulsion hors de l'alvéole, que les larves de guêpe sont placées la tête en bas dans leurs cellules, dont l'ouverture est, comme on sait, dirigée vers la terre. La guêpe des arbustes seule donne aux étages de chaque guêpier une position verticale; mais ces guêpiers, suspendus par un pédicule très-grêle, prennent naturellement, en vertu de leur pesanteur, une position inclinée qui dirige vers le bas l'ouverture de leurs alvéoles; de sorte que les larves qui y sont contenues ont toujours la tête plus basse que la partie postérieure de leur corps, ce qui peut faciliter l'expulsion hors de l'alvéole de la partie excrémentitielle de la matière alimentaire. Les *cellules royales* des abeilles ont aussi leur ouverture tournée en bas. Ne serait-ce point pour le même objet ? On sait que les larves destinées à donner naissance à des reines, sont nourries avec une matière alimentaire différente de celle qui est donnée aux autres larves; et comme sa quantité est beaucoup plus considérable, elle doit avoir un résidu excrémentitiel qui peut être rejeté facilement par la bouche hors de l'alvéole, à raison de la position verticale et renversée de la larve.

La mouche à scie dont j'ai rapporté l'observation offre une particularité fort remarquable; c'est que les vaisseaux à soie de sa larve ne sont point contenus dans le corps de la nymphe; ils sont extérieurs à celle-ci, et situés sous la peau de la fausse chenille. Chez les chenilles vraies, ces vaisseaux sont contenus dans l'intérieur du corps, et on les retrouve dans la nymphe dépouillée de la peau de chenille.

ORDRE DES DIPTÈRES.

Mouche abeilliforme (cristalis tenax. Fab.).

Swammerdam et Réaumur ont donné l'histoire de la mouche abeilliforme; le premier ne l'a, pour ainsi dire, qu'ébauchée; il n'a fait aucune recherche sur l'organisation intérieure de cette mouche, ni de sa larve. Quant au second, s'il est vrai de dire qu'on ne peut rien ajouter à la perfection de ses descriptions, relativement aux organes du dehors et à la clarté de l'exposition qu'il fait des phénomènes extérieurs que présentent la larve et la nymphe de cette mouche, il n'est pas moins certain que ce qu'il a donné touchant l'organisation intérieure de ces dernières, laisse beaucoup à désirer. C'est ce vide que je vais essayer de remplir, en même temps que je suivrai les changements qui surviennent dans l'organisation intérieure de la larve, lorsqu'elle passe à l'état de mouche.

Le canal alimentaire de la larve de mouche abeilliforme offre un œsophage capillaire *a* (fig. 17) lequel pénètre dans une cavité oblongue *b*, séparée de l'estomac *c* par un rétrécissement. Cet estomac, de peu de largeur, est d'une longueur démesurée, puisqu'il est long de cinq pouces, quoique le corps de la larve n'ait que huit à neuf lignes de longueur. Près de l'origine de l'estomac, naissent quatre longs vaisseaux blancs *dd*, qui contiennent un fluide incolore; je pense que ce sont les vaisseaux biliaires supérieurs. L'estomac est disposé en nombreuses flexuosités; il se termine en s'ouvrant dans l'intestin *o*, dont le diamètre est plus petit et qui a peu de longueur. Près de l'origine de cet intestin naissent quatre vaisseaux *ii* très-longs et remplis d'un fluide verdâtre; ce sont les vaisseaux biliaires inférieurs. L'intestin offre, près de l'anus, seize cœcums *hh*, dans lesquels pénètrent les matières stercorales. Dans l'état ordinaire, les cœcums sont renfermés dans le corps de la larve; mais lorsqu'elle rend ses excréments, ils se retournent et sortent par l'anus. C'est de cette manière que Réaumur les a observés, mais sans découvrir leur nature ni leur usage. L'estomac est doublé intérieurement par une membrane fine et diaphane, formant un canal libre et flottant dans son intérieur. Aux deux côtés du canal alimentaire, on observe deux organes d'autant plus volumineux que la

larve est plus voisine de l'époque de sa métamorphose. Ces organes, représentés par la figure 18, sont des canaux recourbés par leur extrémité antérieure, laquelle est gonflée en massue et remplie d'un fluide laiteux, destiné spécialement à servir à la nutrition de la nymphe pendant sa métamorphose; je dis *spécialement*, car il paraît que c'est également dans ces organes que les vaisseaux biliaires supérieurs et inférieurs de la larve puisent les matériaux de la sécrétion des fluides qu'ils versent dans le canal alimentaire. En effet, ces canaux *lactifères* reçoivent l'insertion des vaisseaux biliaires de la manière suivante. Des deux vaisseaux biliaires supérieurs qui sont destinés à chacun d'eux, l'un se rend en *b* et l'autre en *a*, et ils deviennent capillaires en y abordant; comme ils sont incolores, on ne peut les suivre plus loin. Des deux vaisseaux biliaires inférieurs destinés à chacun de ces organes, l'un se rend en *a* et l'autre en *c*; là, ils deviennent sur-le-champ capillaires, et leur couleur verte fait qu'on peut les suivre de l'œil dans les innombrables flexuosités, au moyen desquelles ils tapissent toute l'étendue des parois de ces *canaux lactifères*, auxquels ils donnent leur couleur verdâtre.

Deux corps considérables de trachées s'observent dans le corps de cette larve; ils reçoivent l'air du *conduit de la respiration* placé dans la queue extensible, si bien décrite par Réaumur. De ces corps de trachées partent les nombreuses ramifications qui portent l'air à toutes les parties.

Telle est l'organisation de la larve de mouche abeilliforme; examinons actuellement celle de cette mouche elle-même. Ce qui frappe au premier coup d'œil, en ouvrant cette mouche, ce sont deux gros sacs sphériques remplis d'air; ces sacs sont les réservoirs de l'air pour les trachées, et ils sont formés, comme elles, de fils juxtaposés et disposés en spirale. L'œsophage très-délié *a* (fig. 19) traverse en droite ligne le corselet, s'applique sur l'intervalle des deux sacs aériens, et au-dessous d'eux donne naissance à l'estomac *d*. De la terminaison de l'œsophage naît encore un conduit assez long et délié, qui se rend dans une poche *b*, laquelle est bilobée et cordiforme; cette poche est remplie de la même matière alimentaire qui se trouve dans l'estomac, c'est-à-dire d'une pâte jaune formée par le pollen des fleurs dont la mouche abeilliforme fait sa nourriture. Cette poche est par conséquent une véritable *panse*, dans laquelle la mouche met en réserve une provision d'aliments. L'estomac *d* est long et de peu de largeur, il forme des replis dans l'abdomen. L'intestin *i* qui le suit est très-grêle, et l'on voit près de son origine l'insertion des quatre vaisseaux biliaires *gg*; il se rend après quelques flexuosités à l'anus, sans présenter aucun renflement sensible.

Voyons actuellement comment s'opère cette métamorphose du canal alimentaire de la larve.

Lorsque cette larve veut se métamorphoser, elle s'enfonce en terre; là, sa peau se dessèche et lui forme une coque solide. Ayant ouvert une de ces larves qui s'était enfoncée en terre depuis vingt-quatre heures, j'ai trouvé l'estomac vide d'aliments, ayant encore sa doublure intérieure; il s'était considérablement raccourci et n'avait plus que deux pouces et demi de longueur. Les *canaux lactifères* étaient à moitié vides. Chez une nymphe âgée de deux jours j'ai observé un raccourcissement encore plus considérable de l'estomac; les cœcums avaient disparu. Les canaux que je considère comme les vaisseaux biliaires supérieurs commençaient à s'oblitérer. Les *canaux lactifères* étaient plus petits que la veille; les deux corps de trachées que j'ai observés chez la larve étaient aplatis et vides d'air. Chez une nymphe âgée de quatre jours l'estomac n'avait plus que neuf lignes de longueur; sa doublure intérieure s'était détachée, et elle était chiffonnée en paquet dans son intérieur; la cavité *b* de la figure 17 s'était changée en un canal aveugle et allongé, rudiment de la *panse*. Les vaisseaux biliaires supérieurs avaient disparu. Les corps de trachées de la larve avaient également disparu, ainsi que les *canaux lac-*

diptères. On ne voyait encore aucune apparence des *sacs aériens* de la mouche.

Chez la nymphe âgée de cinq jours on voyait les rudiments des sacs aériens ; ils communiquaient chacun par un canal avec les *grandes cornes* qui, comme on le sait, apparaissent sur la nymphe deux jours après qu'elle a commencé l'œuvre de sa métamorphose. Le canal qui formait le rudiment de la panse s'était allongé et commençait à se dilater par son extrémité.

Chez une nymphe âgée de six jours on voyait la panse toute formée ; le canal alimentaire était tel qu'il sera chez la mouche. On ne voyait plus dans l'intérieur de l'estomac sa doublure chiffonnée et en paquet, qu'on y observait encore deux jours auparavant. Je ne sais ce qu'elle était devenue ; peut-être avait-elle été dissoute par les fluides de l'estomac.

Enfin, au bout de dix jours la mouche sort parfaite de sa coque, et présente l'organisation qui a été exposée ci-dessus.

Réflexions.

Aucun anatomiste n'avait observé avant moi chez les insectes ce réservoir d'aliments auquel j'ai donné le nom de *panse*, réservoir que j'ai observé d'abord dans la mouche abeilliforme (*eristalis tenax*) et que j'ai retrouvé ensuite chez la mouche à viande (*musca vomitoria*, Fab.), chez la mouche verte (*musca cæsar*, Fab.), et chez le taon des bœufs (*tabanus bovinus*, Fab.), seuls diptères que j'aie disséqués [1]. Chez ces trois dernières mouches, le col de la panse, au lieu d'aboutir à la terminaison de l'œsophage, comme cela a lieu chez la mouche abeilliforme, aboutit à l'origine de l'œsophage, tout près de la bouche. Chez elles le corps de la panse est divisé en deux lobes sphériques, tandis que chez la mouche abeilliforme il n'offre qu'un seul lobe cordiforme. Il est probable que cette organisation appartient à beaucoup d'autres diptères. Réaumur est le seul naturaliste qui, avant moi, ait aperçu cet organe, et il l'a pris pour un cœur [2]. En observant une de ces mouches dont les larves dévorent les pucerons, il vit au travers des parois transparentes de son abdomen, une petite poche surmontée d'un long col qui la rendait assez semblable à une bouteille. Il vit le fluide contenu dans cette bouteille lancé dans le col, de la même manière que le sang est chassé dans les artères par la contraction du cœur. Aussi n'hésita-t-il pas à considérer cet organe comme un véritable cœur. Je n'ai point eu occasion d'observer la mouche dont parle ici Réaumur ; mais il est évident que l'organe qu'il prend pour un cœur n'est autre chose que la *panse* dont j'ai donné la description.

J'ai vu ici à découvert un phénomène dont j'avais seulement soupçonné l'existence chez la nymphe du fourmi-lion ; je veux dire la formation d'un appendice aveugle du canal alimentaire. J'ai vu, en effet, la panse de la mouche abeilliforme se développer aux dépens de la cavité qui précédait l'estomac de la larve, et ce fait autorise à admettre une semblable formation, par rapport à l'appendice aveugle que j'ai considéré comme un canal biliaire supérieur chez la demoiselle du fourmilion.

---

[1] M. Marcel de Serres, dans son Mémoire intitulé : *Observations sur les usages des diverses parties du tube intestinal des Insectes*, inséré dans le 20e volume des *Annales du Muséum*, a donné (p. 249) la description du canal alimentaire du taon des bœufs (*tabanus bovinus*). Il ne fait aucune mention de la *panse*, qui a échappé à ses observations. Sa description contient d'ailleurs plusieurs inexactitudes. Il attribue à cette mouche deux ordres de vaisseaux hépatiques ; je ne lui en ai trouvé qu'un seul ordre ; ce sont ceux qui naissent à l'origine de l'intestin, au-dessous de l'estomac. M. de Serres prétend que ces vaisseaux sont en fort grand nombre ; je n'en ai compté que quatre. Ces vaisseaux, très-longs et très-sinueux, sont assez gros et de couleur blanche dans le voisinage de leur insertion ; ils deviennent, en s'éloignant de l'intestin, très-grêles et de couleur jaune. C'est peut-être ce qui en aura imposé à M. de Serres, en lui faisant croire à l'existence de deux ordres de vaisseaux hépatiques.

[2] Mémoires pour servir à l'Histoire des Insectes. t. IV, p. 260.

ORDRE DES COLÉOPTÈRES.

Grand hydrophile (hydrophilus piceus. *Fab.*)

Vers le milieu du mois de mai, je pris dans une mare une certaine quantité de larves de grand hydrophile, que leur grosseur me fit juger être voisines de l'époque de leur métamorphose. Je les conservai dans des vases remplis d'eau, et je les nourris avec des têtards. Dans les premiers jours de juin, elles cessèrent toutes de prendre des aliments. Je les plaçai alors dans des boîtes remplies de terre; elles ne tardèrent pas à s'y enfoncer pour se métamorphoser, et en sortirent au bout de quarante jours insectes parfaits. Je possédais une quantité suffisante de ces insectes pour faire sur leur métamorphose les observations assez suivies que je vais exposer.

La forme du canal alimentaire de la larve de grand hydrophile est représentée par la figure 20: *e*, œsophage court et capillaire; *a*, premier estomac fort vaste et droit; *o*, second estomac recourbé, plus petit que le premier, dont il est séparé par un étranglement *i*; *b*, intestin grêle fort long et fort replié sur lui-même: près de son origine on trouve l'insertion de quatre vaisseaux biliaires extrêmement longs. Ces vaisseaux, dont le commencement seul est marqué dans la figure, sont appliqués dans toute leur étendue sur l'intestin qu'ils revêtent extérieurement au moyen de leurs innombrables flexuosités. Ils se terminent en s'anastomosant tous les quatre au même point, formant ainsi une croix par leur réunion: *c*, est un vaste cœcum, muni d'un appendice aveugle *n*, et suivi du rectum *r* qui est de peu de longueur. L'anus *d* est situé entre deux appendices couverts de poils. Ce sont les organes respiratoires de l'insecte, qui tient assez constamment sa queue à la surface de l'eau pour respirer. Ces deux appendices aboutissent à deux corps considérables de trachées, qui occupent toute la longueur du corps, et qui distribuent leurs ramifications à tous les organes. La larve du grand hydrophile est la seule des larves que j'ai disséquées, chez laquelle je n'aie trouvé aucune *doublure intérieure* au canal alimentaire; je veux parler ici de cette membrane fine et diaphane qui, chez la plupart des larves, double intérieurement le canal alimentaire sans y adhérer, et qui est expulsée à l'une des époques de la métamorphose. Cette exception à un fait qui jusqu'alors m'avait paru général, était assez importante à constater, pour que j'y aie mis tous mes soins, et j'ai acquis la certitude que cette exception était réelle.

Le canal alimentaire de l'hydrophile parfait ne diffère pas considérablement de celui de sa larve. Je vais en donner de suite la description, pour saisir plus facilement le mécanisme des changements qui s'y opèrent. La figure 21 représente le canal alimentaire de cet insecte: *a*, œsophage assez large; *b*, premier estomac à parois minces; *c*, second estomac ou gésier muni intérieurement de dix lames saillantes, dures, et de couleur jaune; chacune d'elles est unie à ses deux voisines par une de ses extrémités, d'où résulte une espèce de zigzag. Le gésier est séparé du troisième estomac *d* par un conduit court et fort étroit. Ce troisième estomac, courbé sur lui-même, est couvert d'une multitude d'appendices déliés, assez courts, semblables à des poils blancs, lesquels sont très-probablement des vaisseaux destinés à la sécrétion d'un fluide qu'ils versent dans ce troisième estomac. Ces vaisseaux me semblent devoir être considérés comme les vaisseaux biliaires supérieurs, lesquels, étrangers à la larve, se trouvent chez l'insecte parfait. A la suite du troisième estomac s'observe le duodenum *f*, à la terminaison duquel se trouvent quatre vaisseaux bilaires disposés de la même manière que je l'ai observé chez la larve; ils garnissent extérieurement les parois de l'intestin grêle *h*; celui-ci s'ouvre dans le cœcum *i*, muni d'un appendice aveugle assez court. Le rectum *o*, droit, et de peu de longueur, termine le canal alimentaire de l'hydrophile, canal qui ne diffère guère de celui de la larve que par le nombre et l'organisation des

estomacs. On va voir comment s'opèrent ces changements.

La larve renfermée dans la terre est environ dix jours avant que de se dépouiller de sa peau. Pendant ce temps, son organisation éprouve peu de changements; le canal alimentaire devient plus petit dans toutes ses parties, mais sans changer de forme. On voit la tête de l'insecte parfait se retirer peu à peu de l'enveloppe dure et transparente de la tête de la larve, et les mâchoires de l'insecte parfait se retirer, comme d'un fourreau, des longues mâchoires de la larve. Enfin, la peau de cette dernière se fend du côté du dos; la nymphe s'en dépouille, et cette nymphe n'est autre chose que l'insecte parfait entièrement nu, blanc, et n'offrant encore que de légers rudiments des ailes et des élytres. Disséqué à cette époque, on trouve le canal alimentaire toujours avec sa même forme, mais plus petit et entièrement vide. Les deux corps latéraux de trachées sont aplatis et vides d'air. Chez la nymphe dépouillée de la peau de larve depuis dix jours, le gésier commence à se prononcer pour sa forme extérieure seulement, car on n'aperçoit encore aucune apparence des lames qui doivent le doubler intérieurement, ni de la couleur jaune qu'il aura dans la suite; il se forme au moyen d'un léger étranglement qui survient vers la partie inférieure du premier estomac de la larve. Le second estomac de cette dernière, qui doit former le troisième estomac de l'insecte parfait, commence à paraître légèrement velu; ce sont les rudiments des vaisseaux biliaires supérieurs qui commencent à se montrer à sa surface. Ces cavités sont toutes entièrement vides. Le gros intestin contient une petite quantité de matières noirâtres, que je pense être de la bile. Les deux corps de trachées de la larve ont entièrement disparu; les ailes et les élytres ont pris de l'accroissement; ils sont encore couchés sur la partie inférieure du corselet. L'insecte commence à prendre de la couleur foncée qui lui appartient.

Chez la nymphe dépouillée de la peau de larve depuis quinze jours, on commence à apercevoir les lames jaunes du gésier. Les vaisseaux biliaires supérieurs du troisième estomac se sont allongés.

La nymphe, dépouillée de la peau de larve depuis vingt jours, a acquis complétement la forme et la couleur de l'insecte parfait; mais les élytres sont encore fort mous. Chez elle, le gésier est entièrement développé; les vaisseaux biliaires supérieurs ont acquis toute leur longueur; le troisième estomac sur lequel ils sont implantés, est rempli d'un fluide jaune probablement sécrété par ces vaisseaux. Le premier estomac est rempli d'air. Enfin, quarante jours après que la larve est entrée en terre, et trente jours après qu'elle s'est dépouillée de sa peau pour se métamorphoser en nymphe, l'hydrophile parfait sort de terre, et son organisation intérieure est telle que je l'ai exposée plus haut.

CONCLUSION.

Ces observations, assez nombreuses pour en tirer des conclusions générales, prouvent que le canal alimentaire des insectes parfaits, quelque différent qu'il soit de celui de leurs larves, n'est cependant que le même canal modifié de diverses manières, et adapté à la nature du nouvel aliment dont l'insecte doit faire usage. Ces observations s'accordent avec celles de M. Savigny, lequel a découvert que les organes de la bouche du papillon n'étaient autre chose que les organes de la bouche de la chenille rendus presque méconnaissables par leurs changements de forme et de dimension.

On sait depuis longtemps que la chenille, en se dépouillant de sa peau pour se métamorphoser, rend par l'anus une membrane qui doublait son canal alimentaire. J'ai fait voir que cette membrane fine, diaphane, semblable à un épiderme, et dépourvue d'adhérence avec les autres membranes de l'estomac, n'appartient pas exclusivement aux chenilles, et qu'elle s'observe chez plusieurs autres larves. J'aurais même été porté à regarder l'existence de cette membrane comme générale,

si je ne m'étais assuré de son absence chez la larve du grand hydrophile. Cette exception doit en faire présumer beaucoup d'autres.

La disparition des principaux corps des trachées des larves, lors de leur métamorphose, est un fait qui m'a paru constant; mais il n'est point étayé par un assez grand nombre d'observations, pour que je puisse affirmer sa généralité. Il est probable d'ailleurs que les trachées de l'insecte parfait ne sont que des modifications des trachées de la larve, et que si l'on voit les grosses trachées de cette dernière s'oblitérer et disparaître, cela vient de ce que souvent l'insecte parfait respire par les ouvertures trachéales placées autrement qu'elles ne le sont chez la larve. Il résulte encore de mes observations un fait qui, par son importance, mérite toute l'attention des physiologistes. Ce fait est le développement, je dirais presque *la formation* chez les insectes parfaits, de vaisseaux sécréteurs étrangers aux larves de ces mêmes insectes. J'ai vu, en effet, chez la nymphe du fourmi-lion, se développer un appendice aveugle, qui, d'abord vide, s'est rempli ensuite d'un fluide noirâtre; appendice que j'ai dû considérer comme un gros vaisseau sécréteur, correspondant à lui seul au système des vaisseaux biliaires supérieurs qui s'observent chez beaucoup d'insectes. Ce vaisseau biliaire était complétement étranger à la larve. J'ai vu de même chez la nymphe de grand hydrophile, naître et se développer les innombrables vaisseaux qui versent dans le troisième estomac de l'insecte parfait le fluide jaune que j'y ai observé, vaisseaux qui composent indubitablement le système biliaire supérieur. Ces vaisseaux étaient complétement étrangers à la larve. Il est donc prouvé que, dans certains cas, il se développe sur les parois du canal alimentaire des vaisseaux sécréteurs qui naissent et s'allongent par une sorte de végétation.

On sait qu'il existe chez les chenilles un épiploon graisseux, qu'on regarde, avec raison, comme un réservoir de matière nutritive, dans lequel la nature puise les matériaux nécessaires pour la nutrition de la nymphe et l'accomplissement de la métamorphose. J'ai retrouvé cet épiploon chez toutes les larves sans exception.

Enfin, mes observations ont dévoilé quelques particularités curieuses de l'anatomie des insectes, notamment l'absence de l'anus chez quelques larves, et l'existence de la *panse* chez plusieurs diptères.

XXI.

OBSERVATIONS

SUR LA STRUCTURE

ET LA RÉGÉNÉRATION DES PLUMES,

AVEC DES CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA COMPOSITION DE LA PEAU DES ANIMAUX VERTÉBRÉS [1].

La nature n'a point de sujets futiles pour l'observateur philosophe; admirable jusque dans ses plus petits détails, elle nous offre partout des mystères qu'il nous importe de dévoiler. En apparence, peu dignes d'attention par eux-mêmes, certains faits acquièrent de l'intérêt par leur rapprochement : les recherches suivantes sur la structure et la régénération des plumes offriront une preuve de cette vérité. Ces recherches, d'un intérêt assez médiocre au premier coup d'œil, semblent n'avoir été dirigées que par cet attrait si vif qu'il y a à découvrir les choses cachées, même sans but d'utilité. Cependant on verra ressortir de cette étude des faits nouveaux et des considérations importantes pour la physiologie; on y trouvera en même temps des notions sur les différentes couches dont est composée la peau des animaux.

[1] Ce Mémoire a été publié en 1819 dans le LXXXVIII[e] tome du Journal de Physique. J'y ai fait des modifications.

Le sujet que j'entreprends de traiter ici n'est pas neuf, sans doute; mais il n'a pas encore été approfondi. Poupart a donné une histoire aussi incomplète que fautive de la régénération des plumes dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences*, année 1699. Le célèbre auteur des *Leçons d'Anatomie comparée* s'est contenté de jeter quelques regards sur cet objet dont l'examen détaillé appartient plutôt à un mémoire *ex professo* qu'à un ouvrage destiné à exposer l'ensemble des connaissances anatomiques. Depuis la première publication des observations que je présente ici, M. Frédéric Cuvier a fait paraître, dans les Annales des Sciences naturelles (tome XIX, page 113), des *observations sur la structure et le développement des plumes*. Les opinions de cet observateur étant, en certains points, différentes des miennes, je les exposerai et je les discuterai.

La plume est composée, comme chacun sait, d'un tuyau corné, lequel supporte une tige dont l'enveloppe, également cornée, contient une substance blanche

spongieuse, et sur les côtés de laquelle sont rangés les appendices nommés *barbes*. Ces barbes sont elles-mêmes de petites plumes, ou plutôt de petites tiges de plumes garnies de barbules. La tige de la plume offre une face convexe que j'appellerai *face postérieure de la tige*, et une face concave marquée d'un sillon dans son milieu : j'appellerai cette dernière *face antérieure de la tige*.

La plume, considérée sur l'oiseau, est logée dans un canal plus ou moins profond formé par une dépression de la peau; l'épiderme de cette dernière se réfléchit dans ce canal et le tapisse intérieurement. Au fond de ce canal se trouve un petit bulbe, qui ne paraît être autre chose qu'une papille de la peau, et qui est logé dans la petite ouverture que présente toujours le tuyau de la plume à sa pointe. C'est ce bulbe qui sert à la régénération de la plume après son extraction. Ce bulbe, recouvert par l'épiderme, grossit peu à peu, et acquiert une grosseur et une longueur proportionnelles aux dimensions de la plume qu'il est destiné à reproduire. Son épiderme s'épaissit par l'addition intérieure de plusieurs couches, et forme ainsi un tube blanchâtre fermé de toutes parts, excepté à sa base où il existe une petite ouverture, une sorte d'ombilic destiné au passage des vaisseaux du bulbe contenu dans son intérieur.

Je donne à ce tube blanchâtre extérieur le nom de *tube épidermique*. Le bulbe qu'il renferme est un organe éminemment vasculaire; sa forme est conique; il se termine en pointe par sa partie supérieure, et sa base élargie ne tient à la peau de l'oiseau que par un pédicule grêle situé au milieu de cette base. Ce pédicule qui traverse l'ouverture inférieure du tube épidermique ou l'*ombilic*, contient les vaisseaux et les nerfs qui se distribuent au bulbe. M. Frédéric Cuvier a cru voir que le tube épidermique qu'il nomme *gaîne*, est formé par une membrane *fibreuse* au point où elle prend naissance, et plus haut devenant d'apparence *cartilagineuse*, *s'enlevant par lanières suivant le contour de la gaîne et non point suivant son axe*. Les observations les plus attentives n'ont pu me faire apercevoir cela; il n'y a rien de *fibreux*, rien de *cartilagineux* dans le tube épidermique ou *gaîne* de la plume; il ne s'enlève par lanière ni dans le sens de son contour, ni dans le sens de son axe. On ne peut le déchirer que d'une manière irrégulière, et cette déchirure s'opère avec une égale facilité dans tous les sens. On voit qu'il est composé de couches superposées et adhérentes les unes aux autres. En un mot, la texture comme la position de ce tube prouvent que sa formation est le résultat d'un épaississement de l'épiderme et de la réunion de ses couches successives qui se sont agglutinées. La couche la plus intérieure du tube épidermique immédiatement appliquée sur les barbes de la plume, prend par leur contact un aspect strié. M. Frédéric Cuvier considère cette couche la plus intérieure du tube épidermique comme une membrane particulière; il lui donne le nom de *membrane striée externe*. Pendant que la plume forme ses barbes, on trouve ces dernières situées immédiatement sous cette couche interne et striée du tube épidermique. Les barbes intimement adhérentes les unes aux autres dans l'origine, semblent former par leur assemblage une membrane continue; elles sont appliquées immédiatement sur le bulbe et obliquement courbées sur sa surface conique. A cette époque, il est impossible de les séparer du bulbe sans déchirement. Cette sorte de membrane cornée que forment les barbes par leur assemblage, est aussi intimement réunie au bulbe que nos ongles le sont au tissu vasculaire qu'ils recouvrent. Mais lorsque les barbes commencent à prendre de la solidité et à se dessécher, elles se séparent les unes des autres, et en même temps elles se séparent facilement du bulbe qui, après cette séparation, demeure revêtu d'une membrane épidermique très-fine à laquelle le contact des barbes a donné un aspect strié. M. Frédéric Cuvier donne à cette membrane le nom de *membrane striée interne*; il pense que des cloisons transversales séparent les barbes les unes des autres et

s'étendent de la *membrane striée externe* à la *membrane striée interne*, en sorte que chacune des *barbes* et même des *barbules* de la plume, aurait sa capsule particulière faisant partie de la capsule générale formée par l'assemblage des deux *membranes striées externe et interne*. Selon M. Frédéric Cuvier, la formation de la plume serait le résultat du dépôt de la substance cornée dans le moule ramifié que forme la capsule. On verra tout à l'heure que ce mode de formation de la plume, ne peut être admis, et que cette formation est véritablement le résultat d'un développement. Pour s'en convaincre, il suffit de suivre la plume dans son accroissement.

Ce sont les barbes terminales de la plume qui paraissent et se développent les premières, c'est leur sommet qui paraît d'abord; elles prennent toute leur longueur par un accroissement tout à fait pareil pour son mécanisme à celui de nos ongles. Lorsque cet accroissement est terminé, on voit naître le sommet de la tige de la plume. C'est au pourtour de l'ombilic, où se trouve la base étranglée du bulbe, que naissent les barbes et la tige qui leur fait suite; ce sont, comme je viens de le dire, les barbes terminales de la plume qui se montrent les premières; les barbes latérales naissent successivement au pourtour de l'ombilic, à droite et à gauche des barbes terminales, et lorsque leur accroissement est terminé, on voit paraître à leur suite les parties de la tige auxquelles elles correspondent, en sorte que cette tige augmente graduellement de largeur; elle représente dans le principe une simple gouttière dans la concavité de laquelle le bulbe est logé, à peu près comme le bout de notre doigt est logé dans la concavité que lui présente l'ongle; cette gouttière cornée est composée de deux plans de fibres cornées longitudinales; c'est dans l'intervalle de ces deux plans que se développe la substance spongieuse, et voici comment s'opère ce développement. On aperçoit d'abord à chaque côté de la gouttière un petit cordon longitudinal de substance spongieuse, logé, comme je viens de le dire, dans l'intervalle des deux plans de fibres cornées. Ces deux cordons latéraux s'accroissent en grosseur par un véritable développement. Par cette augmentation de grosseur, les deux cordons latéraux de substance spongieuse tendent à envahir la gouttière cornée dans la concavité de laquelle le bulbe est logé; ce dernier se trouve ainsi chassé en avant par le développement de ces deux cordons, qui finissent par se réunir l'un à l'autre sur la ligne médiane de la partie antérieure de la tige, où l'endroit de leur réunion se trouve marqué par un sillon longitudinal. Lorsque les deux cordons de substance spongieuse remplissent entièrement la gouttière cornée par l'effet de leur développement, la tige de la plume est *pleine*, la substance spongieuse la remplit en entier; mais il arrive souvent que ces deux cordons latéraux en se portant l'un vers l'autre, laissent dans la gouttière cornée un vide qui résulte de ce que leur développement n'a pas comblé le fond de cette gouttière cornée. Alors il existe un canal dans l'intérieur de la tige. Ce canal dont il existe un rudiment dans les pennes de l'oie (plumes à écrire), s'étend dans toute la tige dans les pennes des marabous, des cigognes, etc. M. Frédéric Cuvier a noté cette particularité, dont Poupart avait déjà fait mention.

J'ai fait voir comment s'opère l'accroissement en grosseur de la tige de la plume; je reviens à son accroissement en longueur.

La gouttière, ou le segment longitudinal de cylindre corné qui constitue dans le principe la tige de la plume s'accroît en longueur, comme nos ongles, par le développement de sa base, et, de plus, il s'accroît selon la direction transversale, en sorte que ce segment longitudinal de cylindre tend de plus en plus à devenir un cylindre complet. Alors toute la circonférence de l'ombilic se trouve occupée par des fibres cornées et le tuyau de la plume prend naissance. Longtemps avant cette époque le sommet de la plume a vu le jour, Le tube épidermique s'est exfolié et brisé par sa pointe et les barbes de la plume se

sont déployées dans l'air. Nous avons vu plus haut qu'auparavant elles étaient ployées obliquement sur la surface du bulbe, surface qui est recouverte par une membrane épidermique à laquelle M. Fréderic Cuvier donne le nom de *membrane striée interne*. Le sommet du bulbe se trouvant alors exposé à l'air par la rupture du sommet du tube épidermique et par le détachement des barbes qui le recouvraient, éprouve des *mues* successives; il perd de temps en temps une calotte d'épiderme qui tantôt reste isolée, tantôt se colle en dedans de la calotte précédemment abandonnée, de manière à figurer une chaîne composée d'une suite de petits godets. La place qu'occupe cette chaîne de petits godets est intéressante à observer dans les diverses espèces de plumes et aux diverses époques de leur développement. Je prends pour premier exemple les pennes de l'oie, celles qui servent ordinairement pour écrire. Ainsi que je l'ai exposé plus haut, le bulbe est d'abord logé dans la gouttière cornée qui constitue primitivement la tige de la plume dont la substance spongieuse n'est pas encore développée. Le développement des deux cordons latéraux de cette substance remplit peu à peu la gouttière et en chasse le bulbe, qui se trouve alors appliqué sur le sillon que forment ces deux cordons latéraux par leur réunion. Les barbes ployées d'une manière circulaire oblique autour du bulbe complètent alors l'étui dans lequel il se trouve renfermé; elles sont maintenues dans cet état de plicature par le tube épidermique qui les recouvre extérieurement. Le bulbe ainsi placé dans la cavité tubuleuse formée d'un côté par les barbes ployées en cercle autour de lui et d'un autre côté par les deux cordons spongieux juxtaposés, abandonne dans cette cavité tubuleuse les petites calottes ou godets d'épiderme dont son sommet se dépouille successivement. Lorsque le tube épidermique tombe en lambeaux les barbes se déploient à l'air et les petits godets tombent au dehors. Lorsque la tige de la plume est presque entièrement formée et que la naissance du tuyau n'est pas éloignée, les choses se passent un peu différemment. Alors les deux cordons latéraux de substance spongieuse ne chassent plus complétement le bulbe hors de la gouttière cornée fort élargie qu'il occupe; ils ne l'expulsent qu'à moitié, et, comme ces deux cordons tendent toujours à se réunir l'un à l'autre sur la ligne médiane par l'effet de leur développement, il en résulte que le bulbe qui leur est interposé se trouve comprimé entre ces deux cordons, en sorte que les godets qu'il abandonne se trouvent pincés entre les deux cordons. Un demi-godet fait saillie en dehors et un demi-godet fait saillie en dedans de la tige qui se trouve alors contenir un canal à sa partie postérieure, canal qui n'est autre chose que le fond de la gouttière cornée qui n'a point été comblé par le développement des deux cordons latéraux de la substance spongieuse. Plus tard, lorsque l'accroissement circulaire de la gouttière cornée l'a changée en tuyau complet, le bulbe se trouve complétement emprisonné dans ce tuyau, et il y laisse les godets ou les calottes dont son sommet se dépouille successivement; c'est ce qu'on nomme l'*âme de la plume*. Le tuyau continue de s'accroître par sa base; le bulbe diminue peu à peu de hauteur, et, lorsque l'accroissement du tuyau est terminé, le bulbe, réduit à l'état de simple papille, n'occupe plus que la petite dépression qui se trouve à l'extrémité du tuyau.

On voit par cet exposé qu'il y a un temps dans le développement des pennes l'oie, où la gouttière cornée qui constitue primitivement la tige, n'est pas entièrement comblée par le développement des deux cordons spongieux latéraux, en sorte qu'après la jonction de ces deux cordons sur la ligne médiane, il reste dans l'intérieur de la tige un canal qui contient une moitié de l'*âme de la plume*, l'autre moitié restant extérieure par l'effet du pincement exercé par les deux cordons spongieux latéraux qui se joignent. Or, ce qui, dans les pennes de l'oie, n'a lieu que dans une portion peu étendue de la tige, s'observe dans toute l'étendue de cette même tige dans les pennes d'un assez grand nombre

d'oiseaux, et notamment dans les pennes des marabous et des cigognes. Les tiges de ces pennes sont creusées par un canal qui occupe toute leur étendue, et l'on y trouve partout les demi-godets que le sommet du bulbe y a abandonnés en se retirant, et qui sont pincés entre les deux cordons spongieux latéraux. M. Frédéric Cuvier, trompé par cette disposition, a cru que, dans les plumes à tige creuse, il existait deux *âmes* ou chaînes de godets, l'une intérieure contenue dans le canal de la tige, l'autre extérieure contenue comme à l'ordinaire dans le canal formé par les barbes ployées circulairement. Il a admis que ces deux chaînes de godets qui supposeraient deux bulbes ou du moins un bulbe bifurqué à son sommet n'avaient de point de réunion qu'au sommet du tuyau où il existe une sorte d'ombilic. Mais cette théorie n'a aucun fondement dans l'observation qui démontre qu'il n'existe réellement qu'une seule chaîne de godets, qui, dans les plumes à tige creuse, est pincée latéralement, par le rapprochement des deux cordons spongieux latéraux, et dont les deux moitiés se trouvent ainsi placées l'une à l'extérieur de la tige, et l'autre dans son canal intérieur. Au reste ces mues successives qu'éprouve le sommet du bulbe prouvent bien évidemment que la membrane qui recouvre cet organe est une membrane épidermique et non pas la portion interne d'une capsule, comme le prétend M. Frédéric Cuvier, qui donne à cette membrane le nom de *membrane striée interne*. Le fait est que cette membrane, purement épidermique, n'a l'aspect strié que là où elle est en contact avec les barbes; elle cesse d'être striée quand elle se trouve renfermée dans le tuyau.

Il résulte encore de ces observations que la plume ne se forme point comme l'admet M. Frédéric Cuvier, par le dépôt d'une substance dans un moule. La plume s'accroît en longueur par un développement tout à fait semblable à celui de nos ongles, et sa substance spongieuse s'accroît en grosseur par un véritable développement. La manière dont naissent, s'accroissent et se joignent les deux cordons spongieux latéraux, prouve cette assertion. M. Frédéric Cuvier admet que la substance spongieuse est *déposée* dans l'intérieur de la tige; mais il n'en est rien, car cette substance n'est point *à nu* comme il paraît le croire; elle est recouverte en dedans par une lame cornée qui est la continuation de la lame cornée qui revêt intérieurement le tuyau. Cette substance spongieuse offre quelquefois des prolongements assez longs qui s'étendent dans les parois du tuyau. C'est là qu'il est facile de voir que cette substance n'est point *à nu*, mais qu'elle est contenue entre la lame cornée externe et la lame cornée interne du tuyau. La première de ces lames est continue avec celle qui revêt la partie *postérieure* de la tige, la seconde de ces lames est continue avec celle qui revêt la partie *antérieure* de la tige où se trouvent les deux cordons spongieux séparés par un sillon. Ce fait, qui est assez curieux, avait échappé à tous les observateurs; il résulte évidemment du mode d'origine de ces deux cordons, dont l'enveloppe cornée, limitée par l'insertion des barbes, appartient véritablement tout entière à la lame interne du tuyau, lame dont elle est une continuation.

La cause qui fait que la substance spongieuse cesse de s'accroître lorsque le tuyau de la plume commence à se développer est facile à saisir. Cette substance recevait les matériaux de son accroissement du bulbe qui était appliqué sur les deux cordons spongieux latéraux. Aucun des vaisseaux du bulbe ne pénètre cependant dans le tissu de la plume; ainsi le développement progressif de sa substance spongieuse est dû à une nutrition opérée par les fluides que verse le bulbe et que la substance spongieuse absorbe. Lorsque le tuyau de la plume commence à naître, il se trouve que les deux cordons spongieux latéraux ont acquis par leur développement une grosseur suffisante pour boucher complétement l'ouverture de ce tuyau naissant. Le bulbe alors se trouve complétement renfermé dans le tuyau. Il cesse d'être appliqué sur les cordons spongieux, il cesse par conséquent d'être dans la po-

sition convenable pour leur fournir les matériaux de leur accroissement. Il n'y a plus dès lors que de faibles prolongements de cette substance spongieuse, qui s'étendent quelquefois à peu de distance, compris entre les deux lames cornées, dont le tuyau est composé.

Je viens d'exposer la manière, dont se développent les plumes *simples;* mais il est des plumes qu'on pourrait appeler *doubles,* lesquelles ont deux tiges supportées par un même tuyau; telles sont les plumes du casoar, telles sont aussi la plupart des petites plumes des poules de nos basses-cours. Ces plumes offrent deux tiges différentes de grandeur, dont les faces concaves se regardent et qui sont supportées par le même tuyau. La production de ces deux tiges dépend de ce que le bulbe a commencé a produire des barbes, et par conséquent des fibres cornées par deux points de sa base diamétralement opposés; seulement un de ces points a eu sur l'autre une antériorité de développement plus ou moins grande, d'où résulte la différence qui existe dans la grandeur relative de ces deux tiges. Si la plume eût été *simple,* sa tige eût été plus longue et plus grosse, son tuyau restant le même; car le nombre des fibres cornées de la partie postérieure des deux tiges, correspond au nombre des fibres du tuyau. La plus petite de ces tiges a sa face postérieure tournée du côté de la peau de l'oiseau.

Les observations que je viens d'exposer prouvent que la plume s'accroît par un véritable développement; ce fait, qui est d'une grande importance par les inductions physiologiques auxquelles il peut conduire, recevra de nouvelles preuves de l'étude de la structure intime des diverses parties de la plume. Toutes les parties qui sont ou qui ont été animées par la vie ont une *texture organique.* Un solide organique est un assemblage de particules microscopiques, ordinairement vésiculeuses ou tubuleuses, affectant par leur assemblage tantôt la forme linéaire, tantôt la forme réticulaire, etc. Tous les produits solides de l'organisation vivante ne sont pas des *solides organiques;* ainsi, par exemple, les membranes de la coque et la coquille de l'œuf des oiseaux ne sont point, comme les véritables solides organiques les résultats d'un développement. Ce sont des solides formés par la coagulation ou par le desséchement de certains fluides sécrétés; l'examen microscopique ne fait apercevoir aucune *texture organique* dans ces solides formés par des fluides sécrétés devenus concrets. Toutes les fois donc que l'on aperçoit dans les produits de l'organisation la *texture organique,* on peut sans hésiter affirmer que ces produits de l'organisation ont été vivants et ont par conséquent été formés par un véritable développement. Or, la *texture organique* est très-évidente dans toutes les parties de la plume. La substance spongieuse est composée par une agglomération d'utricules globuleuses; c'est un véritable tissu cellulaire ou utriculaire, semblable à celui qui se rencontre dans certaines parties des végétaux; c'est en quelque sorte un *liège animal* (voy. page 95). La substance cornée du tuyau est formée de deux lames, ainsi que je l'ai dit plus haut. Ces deux lames sont distinctes quoique intimement réunies. C'est dans leur intervalle que sont situés les prolongements de substance spongieuse qui, dans les plumes de certains oiseaux, s'étendent assez avant dans les parois du tuyau. La lame extérieure s'enlève avec une égale facilité par lanières longitudinales et par lanières circulaires suivant le contour du tuyau; cela prouve que sa texture organique la dispose à peu près également à ces deux modes de division. C'est spécialement le plan le plus extérieur de cette lame qui se prête à la division par lanières circulaires, le plan sous-jacent se divise encore un peu circulairement, mais il se divise bien plus facilement dans le sens longitudinal. La lame intérieure du tuyau ne peut se diviser qu'en lanières longitudinales; l'observation du mode de texture du tuyau explique pourquoi sa lame extérieure se divise à la fois par lanières longitudinales et par lanières circulaires. Pour apercevoir cette texture au

microscope il faut prendre un fragment du tuyau d'une des plumes de l'aile d'un oiseau de médiocre grosseur, d'un canard, par exemple, et le faire bouillir dans une solution de potasse caustique (hydrate de potasse). Si la solution est concentrée et l'ébullition un peu prolongée, toute la substance du tuyau soumis à l'expérience sera dissoute; mais si la solution est peu concentrée et que l'on ait soin de veiller à ce que le fragment du tuyau ne soit point décomposé par une ébullition trop prolongée, on arrivera à trouver le moment où ce fragment de tuyau a pris la consistance d'une membrane molle dont le tissu, devenu lâche, laisse alors facilement apercevoir son organisation à l'aide du microscope. Qu'on se figure un filet de pêcheur dont les mailles très-inégales, très-irrégulières auraient leurs fils juxtaposés et dirigés dans le sens longitudinal. Telle est l'organisation du tuyau de la plume du canard. C'est cette disposition en réseau dont les mailles sont allongées selon l'axe du tuyau, qui fait que ce tuyau se fend avec facilité selon cette direction; c'est cette même disposition en réseau qui fait que la lame extérieure du tuyau peut, selon la volonté de l'observateur, s'enlever tantôt en lanières circulaires, tantôt en lanières longitudinales, mais toujours plus facilement dans ce dernier sens que dans le premier. M. Frédéric Cuvier a cru pouvoir expliquer cette disposition que présente la lame extérieure du tuyau à s'enlever par lanières circulaires, en admettant que lors de la formation du tuyau les couches internes de *la gaîne* ou du *tube épidermique* devenaient les couches externes du tuyau en s'identifiant avec lui par adhérence. On se souvient en effet que M. Frédéric Cuvier a admis que le tissu de *la gaîne* ou du *tube épidermique* avait la propriété de se diviser en lanières circulaires; mais j'ai fait voir que cette assertion n'était point fondée, et il me paraît probable qu'elle n'a été admise par M. Frédéric Cuvier que par suite de la supposition qu'il faisait que la couche extérieure du tuyau de la plume appartenait originairement à *la gaîne*. Cette assertion n'a aucun fondement dans l'observation. M. Frédéric Cuvier dit qu'il n'a pu trouver par aucun moyen entre *la gaîne* et le tuyau de solution de continuité naturelle; effectivement, cette gaîne épidermique est aussi intimement collée sur ce tuyau que tout épiderme l'est sur les parties qu'il est destiné à recouvrir, mais cette adhérence ne prouve point du tout une confusion de tissu. Au reste ce *tube épidermique* ou *gaîne*, devient sur le tuyau d'une extrême ténuité. C'est lui qu'on trouve encore adhérent au tuyau des plumes, après leur extraction, sous la forme d'un épiderme fin que l'on est obligé d'enlever par un frottement rude, afin que la plume puisse servir aux usages de l'écriture. Ces observations sur la texture organique des plumes concourent avec les observations directes rapportées plus haut pour prouver que les plumes se forment au moyen d'un véritable développement, et que par conséquent leur formation n'est point le résultat du dépôt dans un moule d'une substance liquide qui se serait ensuite concrétée, ainsi que le pense M. Cuvier.

La matière colorante des plumes est tout entière dans la substance cornée; cependant l'observation prouve que ces deux substances sont indépendantes l'une de l'autre, et peuvent exister isolément. Souvent, chez les oiseaux à plumes noires, j'ai trouvé cette substance colorante déposée par une sorte de surabondance sur la face interne du tube épidermique, dans les endroits où cette face n'était point en contact avec le corps de la plume, ni avec ses barbes; ce qui prouve qu'elle était sécrétée par la surface du bulbe. D'un autre côté, les fibres cornés des plumes colorées offrent souvent des interruptions de coloration; celles du tuyau sont toujours privées de la matière colorante, ce qui prouve que cette dernière leur est ajoutée, et qu'elle leur est essentiellement étrangère. Il est clair que les fibres cornées dont la végétation est alimentée par les matériaux que sécrète le bulbe, doivent s'emparer des substances dans lesquelles leur origine végétante est plongée. Or, cette origine est placée à la base du

bulbe; par conséquent elle est plongée dans la matière colorante que cette base sécrète. Le bulbe s'accroît jusqu'à l'entier développement de la tige de la plume; il ne commence à décroître que lorsqu'il est emprisonné dans le tuyau; par conséquent les parties successives de la tige de la plume se trouvent en rapport avec les parties successivement développées du bulbe. La plume, ou ses différentes parties, doit donc être colorée ou incolore, suivant que la partie du bulbe qui correspond à son origine, lui fournit ou ne lui fournit pas la matière colorante. Ceci explique pourquoi les plumes de beaucoup d'oiseaux sont marquées de taches plus ou moins régulières; pourquoi les barbes qui n'ont entre elles que des rapports de proximité forment cependant par leur réunion ces taches ou ces figures qui semblent les assujettir à une sorte de dépendance mutuelle. Elles ont végété ensemble, et se trouvant ensemble plongées par leur origine dans la même matière colorante, elles ont pris la même couleur. Ainsi, la plume représente en grand et d'une manière sensible, le genre de coloration que possède en très-petit et d'une manière insensible, le bulbe, qui n'est autre chose qu'une portion développée de la peau.

Quelle est cette portion de la peau dont le bulbe est le développement? La structure éminemment vasculaire de ce dernier, et son extrême sensibilité, me font penser que c'est une papille développée; il est un fait qui vient à l'appui de cette opinion, c'est qu'à la surface de la couche papillaire de la peau se trouve, chez tous les animaux, la couche de matière colorée qui porte le nom de *corps muqueux*. Or, cette matière colorée se trouve à la surface du bulbe; ce dernier est donc une papille développée. Cette opinion n'est point partagée par Frédéric Cuvier qui pense que le bulbe naît d'une papille du derme, mais qu'il n'en est point le développement. Cette nouvelle assertion, qui du reste n'est point étayée de preuves par son auteur, me paraît être tout à fait infirmée par l'observation des faits. Le bulbe des plumes, comme on va le voir tout à l'heure, est analogue au bulbe des poils qui sont, comme les plumes, des productions cornées tubuleuses. Or, ces productions cornées sont évidemment analogues aux petites gaînes également cornées qui recouvrent les papilles de la langue des chats. Ici, c'est bien évidemment la papille elle-même qui se trouve à la place qu'occupe le bulbe dans les poils et dans les plumes. Le bulbe est donc incontestablement une papille développée. Il résulte de là, que les enveloppes du bulbe représentent dans un développement qui les rend très-sensibles, les diverses enveloppes dont est recouverte la couche papillaire de la peau de l'oiseau. On y voit: 1° à l'extérieur le tube épidermique, continuation de l'épiderme de l'animal; 2° au-dessous, une enveloppe cornée, quelquefois confondue avec la couche suivante; 3° une substance colorée; 4° une membrane fine, de nature épidermique, qui revêt immédiatement le bulbe. De ces quatre enveloppes, l'épiderme extérieur s'observe seul d'une manière distincte sur la plus grande partie de la peau de l'oiseau; mais on les trouve d'une manière très-visible sur les jambes écailleuses de ces animaux. Les écailles des jambes des oiseaux sont, pour ainsi dire, des plumes modifiées; aussi se changent-elles souvent en plumes, comme on le voit chez quelques variétés de nos oiseaux domestiques. L'épiderme recouvre en entier ces écailles ordinairement colorées; au-dessous de ces dernières, se voit très-distinctement la membrane épidermique qui couvre immédiatement la couche papillaire. Cette analogie si évidente entre les enveloppes de la couche papillaire sur les jambes des oiseaux et les enveloppes du bulbe, achève de démontrer que ce dernier est effectivement une papille développée.

Cette analyse, née de l'observation des plumes, est applicable à tous les animaux vertébrés qui offrent des poils et des écailles comme analogues des plumes. Je me bornerai ici à suivre cette anologie pour les poils, afin d'en déduire cette conclusion, que la peau des mammifères est composée des mêmes couches que la peau des oiseaux.

L'analogie des plumes avec les piquants du porc-épic, n'est pas douteuse. Ces derniers sont des plumes sans barbes, parfaitement semblables à celles qui arment les ailes du casoar; ce en quoi ils diffèrent des plumes véritables, provient seulement de la différence du mode de leur développement; dans la plume, les fibres cornées qui forment le tuyau et son prolongement ne sont point nées à la fois, mais successivement à droite et à gauche de celle d'entre elles qui est née la première; de sorte que leur longueur est inégale. Dans les piquants du porc-épic et du casoar, le bulbe, d'abord très-petit, a produit des fibres cornées par tous les points de sa base; en devenant plus gros, il a produit de nouvelles fibres qui se sont intercalées aux premières et qui ont augmenté le diamètre du tuyau. Cet accroissement continuant d'avoir lieu de la même manière, il en est résulté un tuyau conique ou un piquant.

Des piquants du porc-épic aux poils des autres mammifères, la transition est naturelle et l'analogie évidente. Les poils sont des tubes cylindriques ou coniques, de nature cornée, qui naissent, comme les plumes, d'un bulbe enveloppé par l'origine de leurs fibres. L'intérieur de ce tube est rempli par une matière colorée qui est évidemment celle qui est sécrétée par la surface du bulbe. Le bulbe des poils est situé profondément; souvent on les trouve bien au-dessous de la peau au milieu du tissu cellulaire; il n'est pas pour cela situé sous le derme. Un prolongement de la peau, bien aperçu par Bichat, lui forme une gaîne non interrompue jusqu'à sa sortie. Cette gaîne est donc formée par la peau déprimée depuis sa surface. On conçoit facilement que tel doit être l'effet de l'accroissement des poils qui, végétant par leur base appuyée sur le bulbe, agissent sans cesse contre lui par l'effort qu'ils font pour pousser au dehors leur partie développée, et tendent ainsi à l'enfoncer. Il n'en est pas moins vrai, que le bulbe appartient à la partie de la peau qui est au-dessus du derme; c'est incontestablement une papille déprimée. La matière colorée qu'elle produit le prouverait, si son analogie avec le bulbe des plumes n'était pas à cet égard une preuve suffisante. Au reste, il en doit être en tout du poil comme de la plume, l'épiderme doit s'enfoncer dans la gaîne du poil et se réfléchir sur ce dernier, de manière à lui former un tube épidermique qui tombe par écailles à mesure que le poil se produit au dehors. Les poils diffèrent cependant des plumes, et même du piquant du porc-épic, en ce qu'ils n'ont point de substance spongieuse, et en ce que leur substance colorante, au lieu d'être mêlée intimement à la matière cornée, est contenue dans l'intérieur du tube, qui lui-même est incolore.

L'origine des poils, comme l'origine des plumes, se trouve donc immédiatement au-dessous de l'épiderme; ils sont les uns et les autres le développement d'une couche de substance cornée qui forme l'enveloppe spéciale des papilles. Il en est de même des écailles qui couvrent, en tout ou en partie, le corps de beaucoup d'animaux. Il existe donc au-dessous de l'épiderme, une matière qui tend à former aux papilles une enveloppe solide. Ce n'est point une couche continue, mais un assemblage des petits téguments qui tantôt se développent sous la forme de plumes, de poils ou d'écailles, tantôt restent dans un état de petitesse et de mollesse qui les dérobe à la vue; mais on ne peut guère douter de l'universalité de leur existence. Ce qu'il y a de remarquable, c'est la tendance qu'a cette matière cornée à s'accroître ou à végéter en rayonnant circulairement à partir d'un point central. Cette rayonnance circulaire est fort remarquable dans les écailles de poissons; elle ne l'est pas moins dans les plumes. L'ombilic situé au milieu de la base du bulbe, est le point central duquel partent en rayonnant les fibres du tuyau; ces fibres, parvenues à la circonférence de la base du bulbe, se courbent et changent de direction à angle droit, et montent le long des parois du bulbe, entre lui et la gaîne cylindrique du tube épidermique; de sorte que ces fibres, disposées en cylindre

creux, doivent cependant leur origine à une rayonnance circulaire. Il doit en être de même des poils. En outre la forme *symétrique binaire* des plumes est une dégénération de la forme circulaire; car, si les fibres du tuyau se fussent développées toutes à la fois, les barbes qui les terminent supérieurement eussent été placées en cercle sur l'ouverture circulaire du tuyau; c'est parce qu'elles ne sont nées que successivement à droite et à gauche du point d'origine, que la plume est un être *binaire symétrique*, c'est-à-dire composé de parties semblables placées des deux côtés d'un axe commun. Ici la forme *binaire symétrique* est véritablement engendrée par la forme circulaire.

On peut conclure de ces observations, que la peau des animaux vertébrés offre de l'intérieur à l'extérieur les couches suivantes:

1° L'épiderme;

2° Les téguments cornés des papilles;

3° La couche de matière colorée.

Ces deux dernières couches, quelquefois séparées, souvent confondues, souvent aussi dans un état de mollesse qui ne permet pas de les distinguer l'une de l'autre, forment ce qu'on appelle le *corps muqueux*.

4° La membrane épidermique des papilles.

Cette membrane, absolument inapercevable dans la plupart des circonstances, est très-facile à voir, ainsi que je l'ai déjà remarqué, sur le bulbe des plumes et sous les écailles des jambes des oiseaux; on la voit de même au-dessous des écailles des poissons; elle ressemble en tout à l'épiderme extérieur.

5° La couche papillaire.

Je n'ai rien à ajouter à ce qu'en ont dit les anatomistes; on sait que cette couche, éminemment vasculaire et nerveuse, est le siége principal de la vitalité de la peau. Les vaisseaux sanguins qu'elle possède n'envoient aucune ramification aux quatre couches qui la recouvrent.

6° Le derme.

Je terminerai cet exposé par quelques observations relatives à l'homme.

L'enveloppe cornée reçoit ordinairement sa couleur de la matière colorée avec laquelle elle est en contact; mais aussi, dans bien des circonstances, elle reste incolore sans qu'il soit facile d'en apercevoir la cause. Ainsi, les ongles, qui chez les animaux sont ordinairement de la couleur de la couche colorée, sont cependant incolores chez les nègres. La substance cornée des cheveux est également incolore chez eux comme chez les blancs. Ces faits peuvent être ajoutés à ceux qui servent à prouver que la substance cornée est parfaitement distincte de la matière colorée, bien qu'elle soit souvent mêlée avec elle.

Les poils et les ongles ne sont pas les seules productions qui attestent l'existence de l'enveloppe cornée dans la peau de l'homme; il est des productions accidentelles qui prouvent qu'elle existe même dans les endroits où elle ne se manifeste point d'une manière sensible. Telles sont les productions cornées que l'on a observées souvent à la surface de la peau de l'homme. On lit dans le *Journal des Savants* (août 1672), l'observation d'une corne qui survint à la jambe d'un homme à la suite d'un ulcère. Schenkites rapporte qu'il poussa à une jeune fille de Palerme une grande quantité de cornes à la tête et à toutes les jointures des pieds et des bras : Ash rapporte une observation toute pareille dans les *Transactions philosophiques*, année 1678. Zacharie Managetta, dans les *Éphémérides des Curieux de la Nature* (1670), décrit une corne qui était poussée à un président du parlement de Dijon. Bartholin, dans ses *Histoires anatomiques*, et Olivier Jacobœus, dans les *Actes de Copenhague* rapportent plusieurs faits analogues et plus ou moins singuliers par la forme, la situation ou les dimensions de ces cornes. Il n'est point rare d'observer certaines productions cornées de la surface de la peau auxquelles on donne, ainsi qu'à bien d'autres marques de naissance, le nom d'*envies*. Ces productions cornées tombent et se renouvellent de temps à autre. Il est chez l'homme une autre production dont personne, que

je sache, n'a encore éclairci la nature; je veux parler des cors aux pieds. Il me paraît évident qu'ils sont dus au développement et à l'endurcissement de l'enveloppe cornée.

La membrane épidermique des papilles n'est point ordinairement apercevable chez l'homme; elle existe cependant sous les ongles, et elle s'épaissit lorsque ces organes sont décollés de la couche papillaire qu'ils recouvrent, comme cela a lieu, par exemple, lorsqu'un coup sur l'ongle fait extravaser du sang au-dessous de lui : il est encore une circonstance où cette membrane épidermique manifeste son existence chez l'homme; c'est dans le tatouage, si communément pratiqué chez les sauvages, et quelquefois mis en usage chez nous par les gens du peuple et surtout par les soldats. Dans cette opération, une substance colorée est introduite, par le moyen de piqûres multipliées au-dessous de l'épiderme, et elle y reste sans altération tout le temps de la vie. Or, cette matière étrangère, quoique placée sous l'épiderme, n'est certainement point en contact immédiat avec la couche papillaire, sur laquelle elle occasionnerait des accidents morbifiques en sa qualité de corps étranger. Il est indubitable que cette substance colorée est contenue dans l'intervalle qui sépare l'épiderme extérieur de la membrane épidermique des papilles, et qu'elle est mêlée avec le corps muqueux.

Le fait actuellement bien constaté de l'accroissement des plumes par développement peut offrir des données importantes sur le phénomène de la nutrition. Il est bien certain que la plume ne reçoit point de vaisseaux de la part du bulbe à la surface duquel elle est étroitement appliquée. Ainsi, elle ne peut se nourrir que par le moyen des liquides que le bulbe lui transmet par *filtration;* je ne dirai point par *exhalation*, car ce dernier mot supposerait que le bulbe formerait une partie organique séparée de la plume, ce qui n'est pas. La plume, comme je l'ai dit plus haut, est aussi intimement adhérente au bulbe que nos ongles le sont à la partie qu'ils recouvrent. Ainsi, il y a entre ces parties, si différentes par leur texture, une véritable *adhésion organique*, adhésion qui permet le transport des fluides de l'une dans l'autre. Dans l'origine, la plume fait donc partie de l'organisme vivant de l'oiseau; elle est alors très-molle et elle conserve cet état de vie tant qu'elle conserve de la mollesse. C'est en prenant de la dureté et en se desséchant qu'elle perd la vie. Ainsi la plume complétement développée est une partie organisée frappée de mort par le dessèchement.

La manière dont la plume s'accroît en longueur ressemble tout à fait à la manière dont les os *dicones* s'allongent, excepté que l'accroissement en longueur des os a lieu par leurs deux extrémités, au lieu que l'accroissement en longueur des plumes n'a lieu que par une seule de leurs extrémités. A cela près le mode d'accroissement est identique; c'est de même un *développement végétatif*. Ce développement des plumes par leur base, de même que celui de nos ongles, peut être assimilé à l'accroissement en longueur d'un mérithalle de graminée, mérithalle qui s'accroît seulement par sa partie inférieure engaînée.

La nutrition et le développement de la plume, malgré l'absence de vaisseaux dans son tissu organique, prouve que les vaisseaux sanguins sont étrangers au phénomène de la nutrition. Ils ne servent que de *moyens d'irrigation* pour le tissu des organes; ils leur fournissent, par filtration, le liquide nutritif, dont ils s'emparent, pour se nourrir et se développer. Ainsi la nutrition s'opère chez un animal à système vasculaire, comme elle s'opère chez un insecte; le liquide nutritif est de même épanché dans les interstices organiques, et c'est là que les parties vivantes avec lesquelles il est en contact le prennent pour servir à leur développement.

XXII.

RECHERCHES
SUR
LES ROTIFÈRES [1].

Le plus ancien, et encore aujourd'hui le plus exact des micrographes, Leuwenhoeck, examinant au microscope le sable contenu dans les gouttières, y trouva un animalcule pourvu de deux roues apparentes situées aux côtés de la tête et qui tournaient avec rapidité; il lui donna le nom de *rotifère*. Ce nom a été étendu par Lamarck, comme nom générique, à tous les animalcules qui possèdent de même un organe rotatoire. Cet organe n'est pas le seul phénomène paradoxal que présente le rotifère découvert par Leuwenhoeck; Spallanzani a découvert qu'il jouit de l'étonnante faculté de revenir à la vie après une mort de très-longue durée produite par le desséchement. C'est cette faculté qui lui a fait donner par Gmelin le nom de *rotifer redivivus*. Muller le désigne sous le nom de *vorticella rotatoria*; Lamarck lui a imposé le nom de *furcularia rediviva* ou *furculaire revivifiable* : ce sera sous ce dernier nom qu'il sera désigné dans ce Mémoire.

Malgré les nombreuses observations qui ont été faites sur cet intéressant animalcule, l'on est bien loin de posséder des connaissances certaines sur les points les plus importants de son organisation. Leuwenhoeck lui accorde un cœur et deux véritables roues susceptibles de rotation; ces organes lui sont refusés par Spallanzani, qui regarde le prétendu cœur de cet animalcule comme un organe propre à opérer la déglutition et les *roues* comme une suite de bras ou de tentacules disposés circulairement et qui, par leurs vibrations rapides, offrent à l'œil l'image trompeuse d'une rotation. L'extrême petitesse de cet animalcule rend fort incertaines toutes les observations qui peuvent être faites sur son organisation; mais on peut lever quelques-uns des doutes qui règnent à cet égard en étudiant un animal d'un genre très-voisin, qui est beaucoup plus gros et qui possède, comme la *furculaire revivifiable*, un organe rotatoire, à l'aide duquel il produit des tourbillons dans l'eau pour attirer les corps dont il fait sa nourriture. Cet animal, connu depuis longtemps, est celui qui a été désigné par Schæffer sous le nom de *polype à fleur* [2]. Backer en a parlé brièvement dans son *microscope mis à la portée de tout le monde*, et a donné une mauvaise figure de son organe rotatoire. Cet animal est désigné par Gmelin

[1] Ce Mémoire a été publié en 1812 dans le XIXe tome des Annales du Muséum d'histoire naturelle. J'y ai fait des changements.

[2] Abhandlungen von insecten, t. 1, p. 333.

sous le nom de *brachionus tubifer* [1]. Je l'avais nommé autrefois *rotifère quadricirculaire*. Lamarck l'a désigné sous le nom de *tubicolaire quadrilobée* [2], dénomination que j'adopte. On trouve ce petit animal fixé sur les feuilles des plantes aquatiques et surtout sur les feuilles laciniées de la renoncule aquatique (*ranunculus aquatilis*) ou sur celles des *myriophyllum*. La figure 1, pl. 29, représente quelques-uns des étuis de la tubicolaire quadrilobée dans leur grandeur naturelle et fixés perpendiculairement sur quelques filets de la feuille de la renoncule aquatique. L'animalcule renfermé dans chacun de ces tubes a un peu moins d'un millimètre de longueur, lorsqu'il prend tout l'allongement dont il est susceptible. Son organe rotatoire déployé a deux dixièmes de millimètre de largeur transversale. Le tube dans lequel il est logé est représenté grossi par la figure 2, pl. 29; il est composé de grains arrondis, agglomérés et de couleur jaunâtre. Lorsque ce tube est plongé dans une goutte d'eau sous le microscope, on ne tarde pas à voir la tubicolaire sortir de son intérieur et produire au dehors son organe rotatoire bilobé ou quadrilobé, qu'elle meut circulairement et avec lequel elle forme dans l'eau des tourbillons qui précipitent dans sa bouche les grains de matière verte flottants dont elle fait sa nourriture. Cet organe rotatoire bilobé, que l'on voit dans la figure 3, est ployé de façon qu'il présenterait l'apparence de deux roues *i o*, si l'on ne voyait pas en *a* la continuité des deux lobes qui composent cet organe. L'animal est ordinairement vu du côté du dos dans l'observation microscopique, en sorte qu'il ne montre point à l'observateur la circonférence entière de son organe rotatoire dont une portion est cachée sous la partie antérieure de son corps. Cet organe rotatoire, assez souvent bilobé, comme on le voit dans la figure 3, est plus souvent quadrilobé, comme on le voit dans la figure 4. Le même individu présente, suivant son caprice, l'un ou l'autre de ces deux modes de plicature de l'organe rotatoire.

Tous les naturalistes sont d'accord pour admettre qu'il existe des cils nombreux et vibratiles à la circonférence de la partie que je nomme ici l'*organe rotatoire* et que c'est leur vibration qui offre à l'œil l'image trompeuse d'un mouvement de rotation. Schæffer représente même ces cils nombreux dans les figures qu'il a données de son *polype à fleur* qui est l'animalcule ici désigné sous le nom de *tubicolaire quadrilobée*. Il est difficile qu'une opinion aussi généralement admise soit entièrement dépourvue de fondement, et cependant il est impossible de ne pas la rejeter de prime abord, lorsqu'on regarde au microscope la tubicolaire ayant son organe rotatoire en action. On va juger de ce que l'on doit penser à cet égard par la description que je vais donner de cet organe rotatoire et du mécanisme de son mouvement.

Au moment où la tubicolaire sort de son tube pour déployer son organe rotatoire, on voit que cet organe imparfaitement déployé, se compose de *bras* ou de *cils* assez gros et fort nombreux qui vibrent ou qui s'agitent avec une grande rapidité; alors il n'y a point encore de rotation. Ce premier phénomène est de très-courte durée; l'organe se déploie très-promptement, et alors les *bras* ou *cils* vibrants ont entièrement disparu, et on observe le phénomène de la rotation. On voit des petites boules, placées d'une manière alterne sur deux rangées, se mouvoir en parcourant la circonférence ou le bord supérieur de l'entonnoir membraneux et lobé *dd* (fig. 3 et 4), entonnoir qui constitue ce que je nomme le *pavillon*. On observe dans ce pavillon tantôt deux, tantôt quatre corps ramifiés qui occupent le milieu de ses deux, ou de ses quatre lobes, et qui sont évidemment les moyens mécaniques de la division de cet organe

[1] Systema naturæ.

[2] Histoire naturelle des animaux sans vertèbres, nouvelle édition avec des additions par MM. Deshayes et Milne Edwards. *Paris*, 1836, tome 2.

en lobes. Ce sont ces *corps ramifiés* qui tendent le pavillon, comme les fanons de baleine d'un parapluie tendent le taffetas qui les couvre. Cela est si vrai, qu'ayant vu une fois l'une des extrémités de ces corps ramifiés dépasser la circonférence du pavillon et faire pointe avec la portion de ce pavillon qu'elle entraînait, j'ai vu, dis-je, alors la série des petites boules en mouvement de progression former une sinuosité anguleuse pour passer par-dessus cette pointe saillante. Ce n'est donc qu'à la circonférence du pavillon qu'il existe un mouvement, le pavillon lui-même est immobile ; il forme un entonnoir membraneux, ou bilobé ou quadrilobé, dont les bords sont occupés par l'organe rotatoire proprement dit. Le mouvement de cet organe paraît tout à fait incompréhensible d'après les idées que nous avons des connexions organiques. Il est impossible, en effet, que cet organe puisse exécuter un mouvement rotatoire sans tordre la partie qui le supporte et à laquelle il fait suite. Or, rien de pareil n'a lieu. Le pavillon dont les bords supportent l'organe rotatoire, est immobile et n'éprouve aucune torsion. L'organe rotatoire semble dans son mouvement glisser sur le bord de ce pavillon, en sorte qu'en observant une des petites boules situées en *o*, on suit son mouvement de progression jusqu'en *a*, de là jusqu'en *i*, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'elle disparaisse sous le corps de l'animal. Cette révolution de la petite boule que l'on suit de l'œil dans sa progression sur les bords du pavillon sinueux, s'opère dans l'espace de quatre secondes environ. Ce mouvement est, comme on le voit, assez peu rapide pour qu'il soit facile de ne point perdre de vue la même petite boule, et pour rester convaincu qu'elle possède véritablement un mouvement de progression. Il n'y a point ici de vibrations rapides de cils qui puissent en imposer en présentant l'image trompeuse d'une rotation ; les petites boules n'offrent aucun mouvement de vibration ; elles s'avancent par une marche uniforme restant toujours également espacées ; elles sont disposées sur deux rangées ; celles de la rangée qui paraît ici inférieure, alternent dans leur position avec celles de la rangée qui paraît ici supérieure. Dans le fait, ces deux rangées de petites boules sont à la même hauteur, ainsi qu'on va le voir tout à l'heure ; si elles paraissent l'une supérieure et l'autre inférieure, cela provient d'un effet de perspective. Au-dessous de ces deux rangées de petites boules, on voit des lignes semblables à des portions de rayons qui tendraient vers le centre du pavillon et qui s'arrêtent toutes à une même ligne *c*, parallèle aux contours des lobes, ainsi qu'on le voit dans les figures 3 et 4. L'observation microscopique fait voir que ces portions de rayons concentriques qui aboutissent aux petites boules participent, comme ces dernières, au mouvement de transport circulaire ; en sorte que l'organe rotatoire se compose de tout ce qui est supérieur à la ligne sinueuse *c*. Cette ligne indique ainsi la séparation de la partie immobile *d* du pavillon, de sa partie mobile ou de l'organe rotatoire proprement dit qui le couronne.

Jusqu'ici, j'ai dit qu'il y avait dans l'organe rotatoire de la tubicolaire un mouvement de transport circulaire. C'est effectivement ce que l'œil aperçoit de manière à produire une entière conviction. Il ne s'agit donc plus que de savoir comment ce mouvement peut avoir lieu. J'avais observé qu'un petit défaut de structure que possédait accidentellement l'organe rotatoire d'une tubicolaire, oscillait sans quitter la place qu'il occupait à la circonférence du pavillon. Cela me fit voir que le mouvement de transport circulaire des parties de cet organe était une illusion d'optique, dont je cherchai dès lors à pénétrer la cause. J'avais aperçu avec le microscope non achromatique dont je me servais lors de mes premières observations, qu'il y avait une plicature en *zigzag* de la partie qui couronnait le pavillon, et comme les angles alternatifs et inverses dont se composait ce *zigzag* semblaient avoir chacun une petite boule à leur sommet, je fus porté à penser que cette partie qui offrait l'apparence d'une rotation consistait dans un cordon ployé, comme

cela est représenté par la fig. 21. Depuis ce temps, ayant fait usage de microscopes achromatiques et bien meilleurs, j'ai vu que cette partie qui couronne le pavillon n'est point un *cordon ployé*, comme je l'avais cru, mais bien une *lame membraneuse plissée*, offrant des festons renflés et alternativement dirigés en sens inverses, comme on le voit dans la fig. 22. Ce sont ces festons alternatifs dont les sommets sont pris pour des petites boules alternes dans l'observation microscopique si féconde en illusions d'optique. Cette lame membraneuse plissée est fixée sur le pourtour *a*, *s* du pavillon *p*, qu'elle couronne et dont il n'y a ici qu'une petite portion de représentée. La membrane composante de ce pavillon ne participe point à ce plissement. Or, c'est cette membrane plissée *o*, *r*, *s*, *a*, qui seule se meut circulairement, non par un transport de ses parties, ce qui serait impossible, mais par une transmission circulaire du mouvement de chacune de ses parties à la partie qui l'avoisine. Pour rendre ce mécanisme facile à comprendre, établissons d'abord une comparaison. Les flots que la chute d'une pierre produit à la surface de l'eau, ont un mouvement réel de progression auquel ne participe cependant point l'eau qui les forme. Le flot s'avance en employant successivement pour sa formation les parties successives de la masse du liquide. Ce n'est point ici un mouvement de progression de l'eau constituante du flot, c'est une transmission d'un mouvement ondulatoire de l'eau qui constitue actuellement le flot à l'eau qui l'avoisine en dehors; en sorte que, dans cette circonstance, la forme se transmet avec le mouvement; c'est la forme qui marche et non la matière; celle-ci ne fait qu'*onduler*; la même eau fait partie successivement de l'intervalle concave ou déprimé des flots et de leur partie convexe ou saillante. Or, comme le changement successif des parties de l'eau pour former le flot est inaperçu et que la forme qui constitue ce flot possède un mouvement de progression, il résulte de là une illusion d'optique qui nous porterait à décider qu'il y a ici une progression de la matière liquide sous la forme de flot, si l'expérience et le raisonnement ne nous prouvaient que c'est cette *forme de flot* seule qui marche. Si, en effet, il se trouve un corps flottant à la surface de l'eau, on voit ce corps osciller sans participer au mouvement de progression des flots qui se succèdent; or, c'est un fait analogue que l'observation m'a fait voir dans l'organe en apparence rotatoire de la tubicolaire. Un léger renflement situé sur cet organe, oscillait sans participer au mouvement de progression apparente des parties de cet organe rotatoire. Ce fait, joint à celui du plissement sinueux de la membrane qui constitue cet organe, plissement que j'ai vu onduler de la manière la plus distincte, ne me laisse point de doute sur la nature et sur le mécanisme du mouvement dont il est ici question. C'est un mouvement ondulatoire exactement semblable à celui des flots et qui produit la même illusion d'optique, laquelle fait croire à un mouvement de transport de la matière. Ainsi supposons une membrane très-flexible (fig. 22), plus longue dans son bord *o*, *r*, que dans son bord *a*, *s*, par lequel elle est fixée sur le bord *p*, qui représente ici une portion du pavillon de la tubicolaire. Cette membrane pourra être ployée sinueusement en festons alternatifs, comme on le voit dans la figure. Ces festons représenteront des *flots* dans leurs parties convexes et saillantes, dirigées vers l'observateur, et représenteront les intervalles des flots dans leurs parties concaves et déprimées; or, l'on conçoit sans difficulté comment le feston *i*, par exemple, qui est saillant du côté de l'observateur, et qui représente pour celui-ci *un flot*, pourra être doué d'un mouvement ondulatoire qui formera son sommet *b*, avec la partie actuellement latérale *c*, de ce même feston, et ensuite et successivement avec les parties *d*, *e*, *f*, *g*, du feston qui est actuellement concave par rapport à l'observateur, et qui, par ce mécanisme, se retournera graduellement et dirigera sa convexité vers l'observateur. Dans ce mouvement de transmission ondulatoire,

le feston *i*, s'avancera dans la direction *o*, *r*, et il remplacera le feston *h*, qui lui-même ayant marché dans le même sens se trouvera être parvenu alors à remplacer le feston *m*, par le moyen de la même progression ondulatoire. Or, comme on voit de même tous les festons marcher de *o*, vers *r*, sans apercevoir que ces festons changent à chaque instant de matière composante, matière qui est ici la membrane plissée, on est naturellement porté, par cette illusion d'optique qui est complète, à penser qu'il y a ici un mouvement de progression de la matière des festons dont les sommets représentent, au microscope, des petites boules alternes; on voit alors se déplacer dans le même sens les lignes étendues du sommet *o*, *r* de la membrane vers sa base *a*, *s*, et qui indiquent ses plis, en sorte qu'on croit voir tout cet appareil de petites boules alternes et de lignes perpendiculaires sur la ligne circulaire *a*, *s*, se mouvoir de *o* vers *r*, en glissant sur le sommet *a s*, du pavillon infundibuliforme, dont la figure 22 ne représente qu'une petite portion *p*. Il est ainsi très-évident que, dans ce mouvement ondulatoire, c'est *la forme* et non *la matière du feston* ou du *flot membraneux*, qui opère une progression; mais, comme on ne voit point que ce feston dont l'œil suit la marche, change sans cesse de matière composante, on est naturellement porté à croire que c'est *la matière* qui se déplace. Telle est la source de l'illusion d'optique qui fait croire à l'existence d'un véritable mouvement de transport circulaire ou de rotation dans les festons de l'organe rotatoire. Au reste, s'il n'y a pas ici un *mouvement rotatoire de matière*, il y a véritablement un *mouvement rotatoire des formes de la matière;* c'est-à-dire un *mouvement rotatoire des festons* et l'effet de ce mouvement est exactement le même que le serait celui du mouvement de rotation d'une roue horizontale munie de palettes dans une eau tranquille. Dans ce dernier cas, l'eau frappée par les palettes recevrait un mouvement giratoire; or, la même chose a lieu par l'effet du mouvement rotatoire des festons dans l'organe dont il est ici question. Ces festons, par leur progression ondulante circulaire, frappent l'eau qui les environne et lui impriment un mouvement de tourbillon [1].

Il est encore une illusion d'optique contre laquelle il faut se tenir en garde dans l'observation dont il s'agit ici. En observant l'organe rotatoire avec un très-fort grossissement, on croit apercevoir des cils excessivement fins et que leur transparence dérobe presque à la vue sur le sommet ou dans les intervalles des petites boules, et se projetant un peu au-dessus. J'ai reconnu que l'apparence de ces cils, ou plutôt de ces lignes, est occasionné par la réfraction que subit la lumière en traversant chacun des petits flots que la progression des festons produit dans la couche d'eau qui les couvre. Cette illusion d'optique disparaît lorsque, au lieu d'observer l'organe rotatoire de côté, ainsi que cela est représenté dans les figures 3 et 4, on l'observe de face, c'est-à-dire le pavillon ayant son ouverture dirigée vers l'œil de l'observateur. Ce n'est même que de cette manière qu'on peut bien voir le mécanisme d'ondulation de la membrane plissée qui constitue l'organe roratoire. Il s'agit actuellement de savoir comment on peu concilier cette structure plissée ou ondulée de la membrane qui couronne le pavillon, avec l'observation qui fait voir bien évidemment qu'en sortant de son

[1] On peut voir à l'œil nu un exemple remarquable de ce mouvement ondulatoire, mais qui s'effectue en ligne droite, dans le *pied* ou dans l'organe de reptation des limaces et des colimaçons, en faisant ramper ces mollusques sur une lame de verre. On voit des ondes qui, naissant à la queue, parcourent toute la longueur du pied et viennent finir près de la tête. Ces ondes, qui offrent l'image trompeuse d'une progression de la matière qui les compose, sont formées par la couche musculaire située sous la peau; celle-ci reste partout étroitement appliquée sur la lame de verre, en sorte que le mouvement ondulatoire appartient exclusivement à la couche musculaire. C'est ce mouvement ondulatoire qui fait avancer le pied en glissant sur le plan qui supporte l'animal.

tube, la tubicolaire agite avec vivacité des bras très-nombreux et assez gros, lesquels disparaissent lorsque le pavillon est tout à fait déployé. J'ai trouvé l'explication de ce phénomène en observant avec attention ce qui se passe dans la transition rapide qui a lieu du mouvement d'agitation des bras au mouvement de rotation. La membrane qui constitue l'organe rotatoire possède plusieurs modes de plissement dont le choix dépend de la volonté de la tubicolaire. Dans les premiers instants de la sortie de cet organe membraneux, il est plissé de la manière qu'il est représenté par la figure 23. Supposant que *p* soit une petite portion du pavillon, la ligne *a, s* sera une portion de sa circonférence sur laquelle est fixée la membrane plissée *o, r*. Ici le plissement n'est pas effectué en festons renflés alternatifs comme cela a lieu dans la figure 22; dans ce nouveau mode de plissement, les festons renflés sont changés en *plis aplatis* comme on le voit dans la figure 23; or, ce sont ces *plis aplatis* qui s'agitent vivement et qui simulent des bras nombreux ou des *cils*, au moment où la tubicolaire sort de son tube; ces premiers plis n'ont besoin que de se renfler pour former les festons de l'organe rotatoire. Quelquefois il arrive que la tubicolaire, lasse d'effectuer sa rotation, l'arrête tout à coup et, ployant de nouveau son organe membraneux en *plis aplatis*, comme cela est représenté par la figure 23, elle agite avec rapidité ces *plis aplatis* qui simulent des bras. On voit par ces observations que ceux qui ont admis un organe rotatoire chez les rotifères et ceux qui ont simplement admis chez eux des *cils vibrants*, avaient raison chacun à part; ils avaient tort seulement d'avoir, à cet égard, une opinion exclusive. Au reste, il est évident qu'une rotation dans le sens exact de ce mot est un phénomène dont l'existence devait paraître impossible.

Le sens de la rotation a lieu indifféremment de droite à gauche ou de gauche à droite chez la tubicolaire quadrilobée. Chaque individu paraît avoir son habitude particulière à cet égard, car on le voit assez ordinairement effectuer cette rotation toujours dans le même sens. Quelquefois cependant on observe que la rotation dans un sens s'arrête brusquement, et qu'elle s'exécute sur-le-champ en sens inverse. Après quelques minutes de rotation, l'animal rentre brusquement dans son tube, duquel il sort l'instant d'après en déployant son pavillon et son organe rotatoire qu'il se met à mouvoir de nouveau.

J'avais observé sur le col de la tubicolaire quadrilobée deux cornes latérales *bb* (figure 3 et 4), dont j'ignorais l'usage : je ne tardai pas à découvrir que ce sont des yeux portés sur des pédicules, comme ceux de plusieurs mollusques gastéropodes. Pour les bien voir, il faut observer souvent l'animal lorsqu'il sort de son étui. La plupart du temps il en sort avec rapidité, et il déploie sur-le-champ son pavillon, mais quelquefois aussi il en sort avec une grande lenteur. On commence par apercevoir les deux yeux qui paraissent comme des points noirs au sommet des deux pédicules qui les supportent; ensuite on voit paraître la tête arrondie de l'animal armée inférieurement de deux petits tentacules (fig. 5). L'instant d'après le pavillon et l'organe rotatoire sortent avec rapidité, la tête de l'animal s'allonge et les yeux se disposent comme on le voit dans les fig. 3 et 4. Quelquefois l'animal, las de mouvoir sa roue ne la montre point en sortant de son étui, mais il reste assez longtemps dans la situation représentée par la fig. 5. On voit alors ses yeux pédiculés rentrer et sortir tour à tour suivant la volonté de l'animal, et par un mécanisme exactement semblable à celui que présentent les yeux du colimaçon. On voit très-distinctement le globe de l'œil parcourir en entrant commme en sortant le tube transparent qui le supporte. Quelquefois l'animal dans cette situation cesse de montrer le dos et se met sur le côté. On voit alors que ses petits tentacules sont crochus et que leur pointe est tournée en haut (figure 6). Schæffer a vu et a figuré comme quatre tentacules les deux yeux pédiculés et les deux véritables tentacules que je viens

de décrire ; il n'a point vu les yeux qui sont au sommet des grands pédicules qui les portent.

Le mouvement circulaire sinueux de l'organe rotatoire de la tubicolaire quadrilobée a pour objet, comme je l'ai dit plus haut, d'exciter dans l'eau des tourbillons qui précipitent dans la bouche de l'animal, située au fond du pavillon infundibuliforme, les petits globules de matière verte flottants dans l'eau, dont il fait sa nourriture. Cette bouche est l'organe *m* (fig. 3) qu'une observation fort superficielle pourrait faire prendre pour un cœur, parce qu'il présente des mouvements apparents de systole et de diastole, lesquels ne sont, dans le fait, que des mouvements de préhension des aliments et de déglutition. Cet organe qui est représenté très-grossi par la figure 8, communique avec l'estomac de l'animal par un canal *c* qui est l'œsophage. Cet estomac ne peut s'apercevoir chez l'animal contenu dans son tube; pour voir l'organisation intérieure de cet animal il faut le dénuder, ce qui se pratique très-facilement. Il suffit pour cela de couper transversalement le tube auprès de son insertion à la tige herbacée qui le porte, car ce n'est que dans le fond de ce tube que la tubicolaire est fixée, en sorte qu'une section transversale dans cet endroit rend l'animalcule libre de toute adhérence à son tube, duquel il sort promptement par l'ouverture antérieure. Ainsi dénudé, il me fut facile de voir son organisation intérieure, parce qu'il est très-transparent. La figure 7 représente la tubicolaire dénudée. Sa couleur est jaune-pâle, et sa peau couverte de rides nombreuses présente, surtout vers la tête, l'apparence de granulations assez semblables à celles qui couvrent la peau du colimaçon. On voit en *c* son organe de déglutition représenté plus en grand dans la figure 8. C'est une poche dont le fond est trilobé, dont l'ouverture est froncée comme celle d'une bourse et qui communique par un canal courbé avec l'estomac *d* (fig. 7), qui est rempli d'une matière jaunâtre parsemée de petits corps noirs. On voit en *i* un canal qui part de l'estomac et qui est l'intestin dont la dernière extrémité s'ouvre sous le ventre de l'animal et près de sa tête en *g*. L'organe *e* est l'ovaire dans lequel on distingue les œufs; l'un d'eux *f* est engagé dans l'oviducte qui s'ouvre à la partie antérieure et droite de la tête. Les deux tentacules *b* sont développés. On voit en *a* les deux yeux pédiculés; le globe de l'œil de chacun d'eux est au milieu du pédicule tubuleux, on l'aperçoit par transparence; c'est exactement la structure des yeux des limaces et des colimaçons. L'animal est terminé par une queue très-allongée, dont l'extrémité servait à le fixer au fond de son étui. Cette queue subit des plis transversaux multipliés lors de sa contraction. Dans cet état de dénudation, privée d'un appui fixe, la tubicolaire ne peut produire des tourbillons dans l'eau; cependant elle fait quelquefois mouvoir son organe rotatoire, mais ce mouvement la fait tourner elle-même. J'ai conservé des tubicolaires ainsi dénudées dans un cristal de montre, et j'ai vu, au bout de deux jours, qu'elles s'étaient fixées par l'extrémité de leur queue au fond du cristal, ce qui leur donnait le moyen de produire des tourbillons dans l'eau. J'ai pu, dans cet état, examiner à découvert le jeu de leur organe de déglutition. J'ai vu cet organe, qui, dans l'état de repos, est placé comme on le voit en *c* (fig. 7), se mouvoir en s'approchant de la partie antérieure de l'animal; alors le canal courbé qui l'unit à l'estomac se redresse, et ce dernier, tiré en avant, en reçoit un mouvement très-sensible; c'est la *diastole* de l'organe de déglutition : dans la *systole* il se contracte sur lui-même en se rapprochant de l'estomac auquel il transmet par le canal de l'œsophage les corps qu'il vient de saisir. Cet organe est la véritable bouche de l'animal. Située au fond du pavillon infundibuliforme, elle est à la fois organe de *préhension* et organe de *déglutition*. Le mouvement de cet organe est entièrement volontaire; il est tantôt plus rapide, tantôt plus lent; il n'a lieu que lorsque l'organe rotatoire est en action, encore quelquefois n'existe-t-il

pas lorsqu'il tourne, ce qui arrive apparemment lorsque les tourbillons sont quelques instants sans amener de nourriture à l'animal. Enfin ce mouvement est sujet à des irrégularités fréquentes. Lorsque l'organe rotatoire ne tourne point, l'organe de déglutition est dans un repos complet; cela est facile à observer lorsque l'animal est à moitié sorti de son tube sans mouvoir son organe rotatoire, ce qui lui arrive assez souvent; cela est encore plus facile à voir dans l'animal dénudé.

J'ai parlé plus haut des œufs que l'on aperçoit dans le corps de la tubicolaire quadrilobée. J'aperçus un jour une de ces tubicolaires qui avait à sa partie antérieure un de ces œufs prêt à se détacher; je l'isolai dans un cristal de montre, et bientôt je vis l'œuf au fond de l'eau. Légèrement jaunâtre et très-transparent, il s'agitait lentement, mais sans changer de place ni presque de forme. Le lendemain cet œuf était devenu une tubicolaire parfaite qui, fixée au fond du cristal par l'extrémité de sa queue, faisait mouvoir son organe rotatoire. Ainsi cet œuf était un fœtus nu et non encore parfaitement développé.

Il m'arriva plusieurs fois dans la suite de voir de semblables œufs qui étaient pondus par les tubicoloraires pendant les agitations convulsives qu'elles se donnaient après avoir été dénudées. Cette agitation spasmodique était telle, qu'elle leur faisait quelquefois vomir une partie des aliments que contenait leur estomac. J'ai observé ces œufs; j'en ai observé d'autres qui étaient sortis de tubicolaires que j'avais coupées par la moitié en voulant les dénuder; tous ont donné le jour à des tubicolaires, les uns plus tôt et les autres plus tard, selon leur degré de maturité. Les moins avancés étaient entièrement opaques; ceux qui approchaient davantage de leur maturité avaient une de leurs extrémités transparente; ceux qui étaient voisins de l'époque de l'éclosion étaient transparents sur les bords, et n'avaient d'opaque qu'un noyau plus ou moins étendu. Ceux-ci, en perdant leur noyau opaque, devinrent des animaux parfaits deux jours après leur sortie abortive; les seconds acquérant de même de la transparence par degrés ne furent parfaits qu'au bout de quatre jours; enfin les premiers n'atteignirent leur parfait développement qu'au bout de six à sept jours. Ils commencèrent, comme les autres, à acquérir de la transparence à l'une de leurs extrémités; la transparence gagna ensuite leur circonférence, et augmenta peu à peu en s'étendant vers le centre. Ces observations me prouvèrent que la tubicolaire quadrilobée doit son origine à un véritable œuf, contenant la matière qui doit servir à l'accroissement du fœtus; mais cet œuf subit dans l'oviducte de la mère ses différents degrés d'accroissements, de sorte que le fœtus est à peu près complétement formé lorsqu'il est expulsé; ainsi ces animaux sont réellement *ovipares*, quoiqu'ils mettent au monde des petits vivants. Toutes les tubicolaires que j'ai vues naître ainsi, étaient entièrement nues et dépourvues d'étuis, ce qui me démontra que ces étuis n'étaient point des coquilles, comme je l'avais pensé d'abord. Voulant savoir s'ils n'étaient point le résultat d'une transsudation calcaire de la peau de l'animal, j'en ai rassemblé plusieurs que j'ai mis dans un peu d'acide nitrique; mais il n'y a point eu d'effervescence. Ces étuis d'ailleurs n'ont qu'une médiocre solidité, et ils ne font entendre aucun bruit quand on les écrase. Il me paraît donc que ces étuis sont des résultats de l'industrie de la tubicolaire, et qu'ils sont produits par l'agglomération de corps étrangers réunis par un gluten animal. Ce qui me porte surtout à le croire, c'est que les tubicolaires que j'élevais ne se formèrent point d'étuis pendant le temps que je suis parvenu à les conserver vivantes, probablement parce qu'elles étaient privées des matériaux nécessaires pour cela. Il est vrai que ces tubicolaires nouvellement nées ne vécurent jamais plus de quinze jours, quoique j'eusse l'attention de leur donner de l'eau de la mare de laquelle elles étaient originaires. Elles n'eurent point le temps par conséquent de se reproduire, ce qui m'empêcha de constater leur hermaphroditisme, duquel d'ail-

leurs on ne peut guère douter d'après la nécessité de leur isolement.

En examinant les étuis des tubicolaires quadrilobées, fixés sur les filaments des feuilles de la renoncule aquatique, j'aperçus quelques-uns de ces étuis que leurs dimensions plus petites et leur couleur blanche distinguaient des autres, qui avaient une teinte jaunâtre. Je les soumis au microscope, et je vis qu'en effet ils étaient habités par des tubicolaires d'une espèce différente et plus petite que la première. Leur organe rotatoire est simple, c'est-à-dire qu'ordinairement il ne se divise point en lobes, comme dans l'espèce précédente, mais qu'il se dispose en un cercle unique. Elles ont des yeux portés sur des pédicules beaucoup plus courts que ceux de l'espèce précédente; elles ont également un organe de déglutition animé de mouvements alternatifs de diastole et de systole. La figure 9 représente une de ces tubicolaires en action. L'organe rotatoire a du reste la même organisation que chez l'espèce précédente. L'ouverture du pavillon qui supporte l'organe rotatoire, est toujours dirigée latéralement, tantôt d'un côté, tantôt de l'autre; jamais elle ne se dirige dans le sens de l'axe de l'étui. Quelquefois l'animal cesse de disposer circulairement la circonférence de son pavillon; il fait une profonde sinuosité à la partie inférieure seulement, de sorte que l'organe rotatoire représente deux lobes imparfaits, comme on le voit dans la figure 10. D'autres fois l'animal rentre en entier son pavillon, en laissant seulement dehors son organe rotatoire, dont la circonférence est diminuée de plus de moitié, et dont les plis, simulant des bras, s'agitent et vibrent avec rapidité; il n'y a plus alors de rotation. Cette nouvelle tubicolaire n'a, comme la précédente, aucun lien organique avec son étui; aussi suis-je parvenu à la dénuder par le même procédé. Dans cet état j'ai pu voir la continuité de l'organe de déglutition avec l'estomac qui est fort vaste et contient une matière jaunâtre. Elle se termine, comme la précédente, par une queue fort allongée. Cette tubicolaire, dont je crois que la découverte m'appartient, a été désignée par M. de Lamarck sous le nom de *tubicolaria alba*.

Les feuilles de la renoncule aquatique m'ont encore offert une autre espèce de tubicolaire qui, par la singularité de son organisation, mérite de fixer l'attention. Cette tubicolaire assez rare diffère des tubicolaires précédentes par la disposition de ses yeux qui, saillants et globuleux, sont placés latéralement vers le sommet d'un tentacule unique et fort long, lequel se prolonge au delà de l'insertion des yeux et se termine par une pointe qui paraît servir de palpe; car l'animal, qui a la faculté de ployer en tous sens ce tentacule unique, le porte vers les objets environnants, et les touche avec son extrémité. Son organe rotatoire est susceptible d'affecter deux états différents; tantôt il se ploie de manière à représenter deux lobes, tantôt il se dispose en un cercle unique. Les figures 18, 19 et 20, représentent trois manières d'être différentes de cette tubicolaire; la figure 18 la fait voir au moment où elle sort de son étui, n'ayant point encore déployé son organe rotatoire; la figure 19 la représente de profil, et ayant son organe rotatoire disposé en un cercle unique; la figure 20 la représente vue du côté du dos, et ayant dans ce moment son organe rotatoire ployé en deux lobes. Je donne à ce tubicolaire, dont la découverte m'appartient, le nom de *tubicolaire crucigère* (*tubicolaria crucigera*), parce que la disposition des yeux aux deux côtés du tentacule donne à ce dernier l'apparence d'une petite croix.

Une quatrième espèce de tubicolaire s'est présentée à moi, en examinant au microscope ces conferves fort courtes et d'un blanc sale, qui croissent sur tous les végétaux plongés dans les eaux dormantes. Cette tubicolaire est fort petite, et son étui blanchâtre est fixé sur les filaments des conferves. Cet étui possède très-peu de consistance, car on le voit se fléchir et se gonfler, suivant les mouvements de l'animal qu'il contient. La figure 11 représente cette tubicolaire, dont la découverte m'appartient, et à laquelle M. de La-

marck a donné le nom de *tubicolaria confervicola*. Sa roue se dispose toujours en un cercle unique et ses yeux sont portés par de longs pédicules. Son anus s'ouvre sur la partie latérale gauche de la tête.

M. de Lamarck place les tubicolaires parmi les polypes, dont un des caractères est de n'avoir aucun organe particulier pour le sentiment, et qui ne doivent point non plus posséder d'anus. Aussi, M. de Lamarck rejette-t-il mes observations qui prouvent que les tubicolaires ont des yeux et un anus. *Le vrai, selon nous*, dit-il, *est que la nature et l'usage des parties observées ne sont ici déterminées que par des suppositions, dans lesquelles les lois et les moyens de la nature n'ont été nullement considérés. On peut manquer de moyens pour déterminer la nature et l'usage de certaines parties de l'organisation, dans certains corps vivants, et en avoir assez néanmoins pour savoir positivement ce que ces parties ne sont pas*. Ainsi, M. de Lamarck nie l'existence des yeux et de l'anus chez les tubicolaires, parce qu'*étant des polypes*, selon lui, elles ne peuvent posséder ces organes. Quant à moi, j'affirme que ces organes existent, parce que je les ai vus de la manière la plus distincte, et j'en conclus que les tubicolaires ne sont pas des polypes. Si l'on voulait nier que les yeux pédiculés de la tubicolaire quadrilobée fussent effectivement des yeux, il faudrait nier aussi que telle fût la nature des yeux pédiculés du limaçon; car leur similitude est exacte.

L'organe rotatoire que possèdent les tubicolaires est exactement le même que celui qui existe chez le rotifère proprement dit, découvert par Leuwenhoeck; cet animalcule est désigné par Lamarck sous le nom de *furculaire revivifiable*. J'adopterai ce dernier nom. L'organe rotatoire de cette furculaire a paru double à tous les observateurs, mais j'ai vu très-distinctement que cet organe consiste dans une roue unique ployée de manière à représenter deux roues, de la même manière que cela a lieu chez le tubicolaire (figure 3). La furculaire revivifiable possède de même un organe de déglutition, animé de mouvements alternatifs de diastole et de systole, ce qui l'avait fait prendre pour un cœur par Leuwenhoeck. Cet organe de déglutition communique avec l'estomac par un canal courbé quand l'organe est en repos, et droit quand il est en action.

On avait observé une petite corne située sur l'un des côtés du col de cette furculaire. J'ai vu que cette corne est située sur la ligne médiane du col et du côté du dos. Un seul individu m'a présenté, à ce qu'il m'a paru, deux cornes latérales placées sur le col; mais n'en ayant vu qu'une seule dorsale sur les nombreux individus que j'ai observés depuis, j'ai été porté à considérer cette apparence de deux cornes comme produite par quelque illusion d'optique. Muller a aperçu les yeux de la furculaire revivifiable, j'ai confirmé sa découverte à cet égard; ces yeux sont situés à l'extrémité de son museau; ils sont de couleur rouge. L'extrémité du museau est armée de palpes très-déliés.

Comme toutes les figures qui ont été données de la furculaire revivifiable me paraissent fort inexactes, et que d'ailleurs mes observations ajoutent quelques connaissances à celles qu'on possédait sur son organisation, je crois devoir en donner ici de nouvelles figures, à l'exactitude desquelles j'ai mis tous mes soins.

La figure 12 représente la furculaire revivifiable, ou rotifère proprement dit, lorsqu'il rampe. On voit en *a* la tête de l'animal armée de petits palpes et munie de deux yeux à la partie postérieure desquels on aperçoit deux fils très-fins qui paraissent être les nerfs optiques. On voit en *b* la corne dorsale que Muller place mal à propos du côté du ventre; l'organe de déglutition *e* est uni à l'estomac *f* par un canal courbé. On voit en *g* un organe à demi-opaque que l'analogie avec les tubicolaires me porte à considérer comme l'ovaire. La queue *d* de l'animal possède une organisation remarquable et qui a déjà été observée. Elle est composée de cinq tubes qui s'emboîtent les uns dans les autres comme ceux d'une lunette; le cinquième est bifurqué et contient dans son intérieur un sixième cylindre creux

qui est terminé par trois dents rétractiles. C'est avec ce trident que l'animal s'attache au plan qui le supporte quand il rampe. Leuwenhoeck n'avait point vu ce dernier trident *o*, il le prenait pour la dent du milieu qui formait avec les deux autres *ii* le trident qu'il considérait comme l'organe avec lequel l'animal s'attache aux corps. Spallanzani, le premier, s'aperçut que les deux dents *ii* étaient étrangères à cet usage qu'il vit appartenir à la seule *dent du milieu*, laquelle lui parut composée de fils très-fins dont il ne détermina point le nombre, mais que ses figures représentent comme très-multipliés.

Lorsque l'animal veut ramper, il fait rentrer les uns dans les autres les tubes qui composent sa queue; il fixe au plan son petit trident *a*, puis, chassant subitement ses tubes qui sortent chacun de celui qui le contient, il porte ainsi son corps en avant. C'est ce même trident qui donne à l'animal une position fixe quand il meut ses roues. Dans cette action il a la forme représentée par la figure 13. Il est à remarquer que la tête de l'animal, (et par là j'entends tout ce qui surmonte le tronc ou le corps proprement dit) est, comme la queue, composée de tubes emboîtés ; le premier de ces tubes supporte la corne dorsale et contient dans son intérieur le museau rétractile de l'animal, ainsi que le pavillon infundibuliforme dont les bords, ployés de manière à représenter deux cercles, supportent un organe rotatoire unique ; j'avais cru d'abord que le museau sortait du centre même du pavillon, mais j'ai acquis depuis la certitude qu'il est situé au-dessus de ce dernier, ayant vu une de ces furculaires qui avait déployé à la fois son museau et son organe rotatoire. La figure 14 la représente dans cet état et vue de profil. Enfin il arrive quelquefois que la furculaire, lasse de mouvoir son organe rotatoire, reste immobile après avoir rentré son museau et son pavillon, ne tenant dehors que son premier tube dont on aperçoit l'orifice circulaire (figure 15).

La reptation n'est pas, comme on sait, le seul mode de progression de la furculaire revivifiable ; elle nage avec vivacité et cela au moyen de l'agitation des bras nombreux dans lesquels se trouve changé son organe rotatoire. J'ai noté plus haut chez la tubicolaire quadrilobée cette faculté de changer les festons de son organe rotatoire en bras susceptibles d'un mouvement vibratile ; on ne doit donc point être étonné de la retrouver dans la furculaire. La figure 16 représente cette furculaire dans l'action de nager. Alors le trident terminal de sa queue est rentré et les bras sont étalés sur le bord circulaire supérieur du premier tube qui porte la corne dorsale, de sorte que le pavillon n'est point sorti du tout. C'est au moyen de l'agitation de ces bras que la furculaire nage. L'ouverture bi-circulaire que forme alors son pavillon doit nécessairement, pendant sa natation, rencontrer quelques-uns des corps dont elle fait sa nourriture et dont il paraît que l'eau des mares abonde ; aussi opère-t-elle de temps en temps des mouvements de déglutition.

Ainsi la furculaire revivifiable possède deux moyens différents pour saisir les corps dont elle fait sa nourriture. Avec son organe rotatoire, qui forme deux tourbillons, elle les attire de loin ; en nageant avec son ouverture bi-circulaire tournée en avant, elle ramasse ceux de ces corps qui se trouvent sur son passage, comme un filet conique saisit dans l'eau les poissons, ou dans l'air les papillons sur lesquels il est dirigé. Cette furculaire est, comme on le voit, beaucoup plus favorisée de la nature que les tubicolaires, puisque celles-ci, condamnées à ne jamais changer de place, n'ont d'autre moyen de se procurer leur nourriture que le jeu de leurs organes rotatoires formant des tourbillons.

D'après ces notions on se trouve à même d'éclaircir une question intéressante d'histoire naturelle et de mettre d'accord les deux naturalistes célèbres qui se sont le plus occupés du rotifère : Leuwenhoeck et Spallanzani. Le premier considère comme deux véritables roues dentées et tournantes l'organe par le moyen duquel le rotifère produit ses tourbillons ; le se-

cond ne les regarde que comme deux suites de pointes vibrantes placées circulairement. Mes observations me prouvent que ces deux naturalistes ont également raison, quoiqu'ils soient d'un sentiment opposé. Leuwenhoeck n'a vu que le jeu de l'organe rotatoire qu'il a pris, mais à tort, pour deux roues ; il n'a point vu le jeu des *bras vibrants* du rotifère qui nage. Il paraît que Spallanzani n'a vu que ce dernier phénomène, ou du moins qu'il l'a confondu avec le premier, car il dit en termes formels, en parlant des rotifères : *quand ils ont sorti leurs petites fibrilles vibrantes, ils ne rampent plus sur le fond de l'eau, mais ils nagent et se transportent où il leur plaît* [1]. Il est étonnant que cet observateur célèbre n'ait pas vu que les rotifères sont toujours fixés à quelque corps solide par le moyen de leur trident terminal, lorsqu'ils font agir leur organe rotatoire; sans cela ils tourneraient eux-mêmes et ne formeraient point de tourbillons dans l'eau. Ce n'est que lorsqu'ils changent leur organe rotatoire en bras vibrants qu'ils nagent et se transportent d'un lieu dans un autre. Ainsi ces rotifères ne sont point différents, comme il le dit, de ceux observés par Leuwenhoeck et par Baker, mais ils sont observés dans des circonstances différentes.

C'est surtout par la merveilleuse propriété qu'elle a de revenir à la vie après un desséchement prolongé que la furculaire revivifiable est célèbre. On se doute bien que je me serai empressé de rechercher si les tubicolaires jouissaient du même avantage. Mes premières expériences à cet égard furent faites sur la tubicolaire quadrilobée. Sachant que la furculaire revivifiable ne ressuscite que lorsqu'elle a été garantie du contact immédiat de l'air par une certaine quantité de sable pendant qu'elle se dessèche, je voulus essayer si la tubicolaire quadrilobée ressusciterait après avoir été desséchée sous le simple abri de son étui. Pour cela je plaçai sur une lame de verre un ramuscule de renoncule aquatique chargé de plusieurs de ces tubicolaires, et je l'y laissai se dessécher. Au bout de vingt-quatre heures, je rendis l'eau à ces tubicolaires et j'examinai attentivement ce qui se passait. J'eus d'abord une lueur d'espérance de les voir ressusciter, en voyant un corps arrondi sortir de chacun de ces étuis ; mais bientôt il me fut démontré que ces corps qui me paraissaient de couleur violette n'étaient autre chose que les bulles d'air que l'eau chassait de l'intérieur des étuis, et qui restaient adhérentes à leur orifice. La couleur violette qu'elles présentaient au microscope provenait de la décomposition de la lumière opérée par ces petites bulles sphériques. Je ne fais cette observation qu'afin de prévenir contre la même illusion d'optique ceux qui pourraient répéter mes expériences. Je continuai donc d'observer mes tubicolaires; mais, quoique je les aie conservées plusieurs jours dans l'eau, je ne les ai point vues revenir à la vie. J'ai voulu essayer si un desséchement moins prolongé et opéré dans les mêmes circonstances serait suivi du retour à la vie; mais j'ai vu qu'un desséchement complet de cinq minutes de durée était suffisant pour les priver de la vie sans retour. Si une privation d'eau de moindre durée ne les tuait pas, cela provenait probablement de ce qu'elles conservaient à l'abri de leur étui une petite portion d'humidité. Convaincu de l'impossibilité de leur résurrection lorsqu'elles étaient desséchées, sans autre abri que celui de leur étui, j'ai voulu voir si elles ressusciteraient desséchées dans la vase sablonneuse qui se trouvait au fond de la mare qu'elles habitaient. Ayant donc mis plusieurs de ces tubicolaires fixées sur un même ramuscule dans un cristal de montre, je les ai couvertes entièrement de vase que j'ai laissé sécher. Au bout de vingt-quatre heures, le tout m'ayant paru sec, j'y ai versé de l'eau, et, lorsque la vase a été bien détrempée, j'ai enlevé avec précaution le ramuscule chargé de ses tubicolaires, et je l'ai placé dans l'eau pure que

[1] Opuscules de physique animale et végétale *des animaux qu'on peut tuer et ressusciter à son gré.*

contenait un autre cristal, afin de le soumettre au microscope. Je n'ai encore vu cette fois aucune résurrection, quoique j'aie conservé ces tubicolaires pendant huit jours dans l'eau. Étonné de ces résultats qui trompaient si fort mon attente, il me vint dans l'idée que peut-être le sable des gouttières avait une vertu particulière pour donner aux animaux qu'on y dessèche la faculté de ressusciter. Je pris donc de ce sable qui était très-abondant en rotifères ou *furculaires,* et je desséchai dedans plusieurs de mes tubicolaires. Examinées au bout de vingt-quatre heures, aucune d'elles ne se montra en vie, quoique dans le même sable qui les contenait plusieurs furculaires et des *anguilles des tuiles* eussent ressuscité. Conservées et observées plusieurs jours de suite, elles continuèrent à ne donner aucun signe de vie. Mais peut-être ces tubicolaires, dont j'avais eu soin de constater l'état de vie avant de les dessécher, avaient-elles abandonné leurs étuis quand elles s'étaient trouvées plongées dans la vase ou dans le sable. Pour éclaircir mes doutes à cet égard, j'ai brisé en petits morceaux quelques-uns de leurs étuis avec la pointe d'une aiguille, et je suis parvenu ainsi à découvrir en tout ou en partie le corps des tubicolaires qui ne m'ont présenté aucun signe de vie, quoiqu'elles fussent gonflées par l'eau. Il me fut ainsi démontré que la tubicolaire quadrilobée ne jouit point de la faculté de ressusciter.

J'ai soumis la tubicolaire blanche aux mêmes épreuves qu'avait subies la tubicolaire quadrilobée, et je profitai de l'occasion pour recommencer concomitamment les mêmes expériences sur cette dernière; mais le résultat que j'avais obtenu fut toujours le même. Les tubicolaires de ces deux espèces ne ressuscitèrent point, de quelque manière et dans quelque matière qu'elles aient été desséchées. Pour ce qui est de la tubicolaire confervicole, je me suis assuré seulement qu'elle ne ressuscitait point desséchée sur une lame de verre sans autre abri que celui de son étui. Lorsque je l'ai desséchée dans de la vase ou dans du sable des gouttières, il ne m'a point été possible de la retrouver, à cause de la vase et du sable dont je n'ai pu débarrasser les petites conferves au milieu desquelles elle habite et sur les filaments desquelles elle est fixée. Pour ce qui est de la tubicolaire crucigère, sa rareté m'a empêché de faire beaucoup d'expériences sur elle. J'en ai desséché une seule sur une lame de verre et à l'abri d'une légère couche de sable des gouttières; lui ayant rendu l'eau après 48 heures de dessiccation, je ne l'ai point vue revenir à la vie. Ainsi la *furculaire revivifiable* est le seul des rotifères qui jouisse de la faculté de ressusciter. Ce n'est point la simplicité de l'organisation de la furculaire revivifiable qui est la cause du merveilleux privilége qu'elle possède, car son organisation n'est point différente de celle des tubicolaires qui ne ressuscitent point. Cette organisation place ces animaux au-dessus des zoophytes, et plus encore au-dessus des animalcules des infusions, dans la classe desquels ils ont été quelquefois placés. C'est des mollusques que les tubicolaires se rapprochent le plus, sans cependant posséder une organisation aussi compliquée que la leur. L'existence des yeux prouve chez eux celle d'un système nerveux et d'un cerveau; mais elles ne possèdent point de vaisseaux apparents. Il est certain qu'elles ne possèdent point de cœur, puisque le mouvement de cet organe serait très-facile à apercevoir, surtout dans la tubicolaire quadrilobée dénudée. Différentes des mollusques par l'absence du cœur, les tubicolaires et les furculaires en diffèrent encore par la simplicité de leur canal alimentaire qui paraît se réduire à un vaste estomac duquel part immédiatement le rectum; chez eux on n'aperçoit point de foie, quoique la couleur constamment jaune de la masse alimentaire puisse faire soupçonner l'existence d'un fluide biliaire. Ces différents caractères placent évidemment ces animaux au-dessous des mollusques et au-dessus des zoophytes; ils semblent former la transition de l'une de ces classes d'animaux à l'autre. Schæffer a vu

quelquefois les tubicolaires quadrilobées fixées les unes sur les autres, comme les branches d'un arbre sur leur tronc, et l'on pourrait conclure de là que ces animaux sont gemmipares comme les polypes. Cette observation ne s'étant jamais présentée à moi, je suis porté à penser que les tubicolaires observées par Schæffer, avaient fixé par hasard leurs étuis les uns sur les autres, comme elles les eussent fixés sur d'autres corps déliés.

Différentes des zoophytes par leur organisation, les tubicolaires n'en diffèrent pas moins par l'impossibilité où elles sont de se multiplier, comme plusieurs d'entre eux, par une division mécanique. On sent la difficulté qu'il y a de faire des expériences de ce genre sur des animaux aussi petits; cependant avec un peu de patience j'en suis venu à bout. Je coupais les étuis de la tubicolaire quadrilobée transversalement et le plus près possible de leur orifice, et j'examinais au microscope la partie que j'avais retranchée. Très-souvent j'en voyais sortir l'animal entier, mais privé seulement de sa queue qui est très-longue et qui occupe une grande partie de l'étendue de l'étui. Cependant en ayant coupé un certain nombre de cette manière, il m'arriva plusieurs fois de couper le corps de l'animal par la moitié; ce dont j'étais certain en voyant la tête seule sortir de la portion de l'étui que j'avais retranchée. Je conservai soigneusement les portions restantes qui contenaient la queue et la partie postérieure du corps de l'animal, pour voir si la partie retranchée se reproduirait; mais quoique j'aie gardé ces tubicolaires mutilées pendant plus de deux mois, je n'ai aperçu chez elles aucun signe de vie, ni par conséquent de reproduction.

En parlant des rotifères, il ne sera peut-être pas hors de propos de dire un mot des autres animaux ressuscitants que Spallanzani a découverts dans le sable des gouttières, et que j'ai rencontrés comme lui. Les animaux que j'ai trouvés ne ressemblent point exactement, il est vrai, à ceux qu'il décrit; cependant je suis intimement convaincu que ce sont les mêmes. Les *tardigrades* que j'ai trouvés ont tous les caractères de véritables insectes. Ils ont six pattes composées chacune de trois articulations et terminées par deux crochets. Les deux dernières articulations sont rétractiles, et rentrent dans l'intérieur de la première, suivant la volonté de l'animal. Sa tête est pourvue de deux yeux latéraux et armée de tentacules très-courts situés près de la bouche. Le corps est divisé transversalement par des étranglements qui correspondent aux intervalles de l'insertion des pattes, et la queue offre deux appendices bifurqués, engagés à moitié dans une membrane transparente, ce qui forme quatre crochets avec lesquels l'animal s'attache aux corps en cheminant. Le corps est parsemé de rides irrégulières qui le font paraître granulé. Vu au microscope et à la lumière réfractée, il paraît jaunâtre et presque opaque; vu à l'œil nu (car il est beaucoup plus gros que le rotifère ressuscitant) ou examiné au microscope avec la lumière réfléchie, il paraît blanc. Cet animal ne nage point; il marche très-agilement dans le sable; mais, lorsqu'il est placé sur une lame de verre, il ne peut cheminer, parce que ses crochets n'ont point de prise sur une surface polie. Cet animal, représenté figure 17, diffère prodigieusement du tardigrade dont Spallanzani a donné la figure. Cependant en analysant ce que cet observateur célèbre a dit de son tardigrade, il est évident que cela convient en grande partie au mien. Son tardigrade est jaunâtre et couvert de granulations; il a six jambes terminées par des crochets; il est trois ou quatre fois plus gros que le rotifère; son extrémité postérieure finit par quatre fils crochus qui lui servent pour s'amarrer; il ne nage jamais. Cette description du tardigrade de Spallanzani convient parfaitement à celui que j'ai observé; il ne me paraît point douteux que ce ne soit le même animal.

Le sable terreux que l'on trouve dans les gouttières provient de la destruction des tuiles ou des ardoises qui forment les toits, et du détritus des mousses et des lichens qui croissent sur leur surface. J'ai

pensé que parmi ces mousses et ces lichens on devait trouver les mêmes animaux que l'on trouve dans le sable des gouttières. L'observation a confirmé ce soupçon. Ces masses végétales détachées des tuiles ou des ardoises sur lesquelles elles croissent étant mises dans une petite quantité d'eau, on ne tarde pas à y voir au microscope une grande quantité de rotifères et de tardigrades. Si ces végétaux sont recueillis par un temps de pluie, on y trouve vivants les animaux qu'ils nourrissent; s'ils sont recueillis par un temps sec, il faut quelques heures d'immersion dans l'eau pour rendre ces animaux à la vie. Ainsi j'ai trouvé des rotifères et des tardigrades non-seulement dans ces touffes assez épaisses de mousses qui croissent sur les tuiles et qui peuvent peut-être résister à une complète dessiccation, mais aussi dans ces expansions de lichen jaune (*lichen parietinus*) qui couvrent souvent les ardoises et qui éprouvent le desséchement le plus complet par l'action prolongée des rayons brûlants du soleil. On ne peut donc se refuser à admettre que ces animaux ont été desséchés avec la plante qui leur sert d'abri et que par conséquent ils sont *morts*. La première pluie qui survient leur rend immédiatement la vie. Dans le cours de ces observations, j'ai très-fréquemment rencontré parmi les mousses et les lichens des toits un *acarus* de la grosseur et à peu près de la forme du tardigrade. Cet insecte dont le corps offre d'assez longs poils, possède huit pattes, comme tous les *acarus;* la dernière paire de pattes est située tout près de la partie postérieure du corps : elle est évidemment l'analogue de la paire d'appendices à doubles crochets que le tardigrade possède à sa partie postérieure et que l'on voit en *d* (fig. 17). Ces doubles crochets, qui existent de même à toutes les pattes, se retrouvent aussi aux huit pattes de l'*acarus*, en sorte qu'il me paraît probable que le *tardigrade* n'est que la larve de l'acarus dont je viens de parler. La larve et l'insecte parfait vivent également sur les mousses et les lichens qui croissent sur les toits.

J'ai trouvé en abondance dans le sable des gouttières les *anguilles des tuiles* de Spallanzani, et j'ai vu comme lui qu'elles reprenaient la vie après avoir été desséchées avec le sable qui les contenait. Ces *anguilles des tuiles* m'ont paru être des *vibrions*.

Je terminerai ce Mémoire par une observation sur les cristatelles. Ces zoophytes sont placés par Lamarck parmi les polypes à polypier munis de *tentacules ciliés*; ces tentacules, qui seraient mieux nommés *bras,* sont loin de ressembler aux *bras* des hydres, qui servent, par leurs flexions multipliées, à saisir les petits animaux dont l'hydre fait sa nourriture et à les apporter à la bouche; les bras des cristatelles sont tout à fait étrangers à cet usage; lorsqu'ils sont dans l'état d'extension ils demeurent immobiles dans leur rectitude, et cependant ils produisent dans l'eau un tourbillon qui précipite dans la bouche de la cristatelle les petits grains de matière verte, ou les animalcules microscopiques dont ce zoophyte fait sa nourriture. En observant au microscope ces bras étendus en ligne droite, on voit sur deux de leurs côtés opposés de petites boules semblables à des petites perles qui d'un côté montent à la file le long du bras et changent de direction à son sommet pour descendre de même à la file du côté opposé de ce même bras. Ce phénomène de progression apparente des petites boules est exactement semblable à celui de la progression apparente des petites boules dans l'organe rotatoire de la tubicolaire quadrilobée, et il n'y pas lieu de douter que le mécanisme de ce mouvement ne soit le même. Il doit être de même, produit par l'ondulation d'une membrane ployée en festons sinueux, lesquels représentent des petites boules dans l'observation microscopique. Cette membrane est fixée sur les deux côtés opposés de chaque bras, lequel peut ainsi être considéré comme analogue à l'un des quatre lobes élargis dans lesquels peut se ployer le pavillon de la tubicolaire quadrilobée; l'assemblage des bras de la cristatelle peut ainsi être considéré comme un organe rotatoire composé de beaucoup de *lobes*

filiformes et analogue à l'organe rotatoire de la tubicolaire quadrilobée, lequel n'offre que quatre *lobes élargis ;* il est fort probable que chez la cristatelle le mouvement des petites boules apparentes se transmet en se réfléchissant de la base d'un bras sur le bras voisin, mais on ne le voit point. On conçoit de cette manière comment la cristatelle produit dans l'eau un tourbillon qui précipite dans sa bouche les corps flottants dont elle fait sa nourriture. Ce mouvement de transport des petites boules apparentes a été vu par M. Milne Edwards sur les bras des *flustres* et des *eschares*. Ainsi ce singulier mécanisme de mouvement paraît exister chez tous les zoophytes qui possèdent ce que l'on appelle, à tort, des *tentacules ciliés,* et que l'on devrait appeler plutôt des *bras pourvus d'un organe rotatoire*.

XXIII.

DU MÉCANISME

DE LA

RESPIRATION DES INSECTES [1].

La respiration des insectes s'exécute toujours par le moyen de trachées qui transportent l'air respirable dans toutes les parties du corps ; ce fait ne souffre point d'exception ; il s'observe chez les insectes *aériens* comme chez les insectes *aquatiques*. On conçoit sans peine que l'habitation de deux milieux aussi différents doit apporter une différence tranchée dans le mécanisme de l'introduction de l'air respirable dans les trachées.

Les insectes *aériens* introduisent dans l'air extérieur leurs trachées au moyen d'actions musculaires particulières qui paraissent devoir être en quelque sorte analogues aux actions musculaires qui opèrent la déglutition. Ce fait se montre évidemment dans l'observation de Réaumur, qui a vu certaines libellules se gonfler d'air comme des ballons, immédiatement après qu'elles ont quitté leur enveloppe de nymphe. La faculté qu'ont les insectes d'expulser l'air contenu dans leurs trachées n'est pas moins évidente ; on voit cette expulsion dans une foule de circonstances, et notamment dans la production de cette sorte d'écume dont s'environnent certains insectes, écume formée par une liquide visqueux dans lequel l'air expulsé forme de petites bulles, comme cela aurait lieu dans l'eau de savon. Il est donc bien certain qu'il y a, chez les insectes aériens, des actions musculaires particulières qui opèrent alternativement l'introduction de l'air extérieur dans les trachées, et l'expulsion de l'air vicié qui doit être porté hors de ces organes. Le mécanisme de ces actions n'est point encore connu, et ce n'est point de sa détermination que j'ai l'intention de m'occuper ici. C'est la respiration des insectes aquatiques qui va être l'objet spécial de mes recherches.

Les insectes aquatiques tantôt puisent leur air respirable immédiatement dans l'atmosphère en venant respirer à la surface de l'eau, tantôt ils le puisent dans l'eau qui les environne, et cela au moyen d'appareils que l'on nomme *branchies*, bien que ces appareils n'aient rien de commun avec les *branchies* des animaux à circulation. Chez ces derniers, le sang qui

[1] Ce Mémoire a été publié en 1833 dans le tome XXV des Annales des Sciences naturelles, et dans le tome XIV des Mémoires de l'Académie des Sciences de l'Institut.

parcourt les appareils branchiaux s'empare de l'oxygène dissout dans l'eau, en sorte que ce gaz passe immédiatement de l'état de dissolution dans l'eau à l'état de combinaison avec le liquide organique circulant. Les choses se passent bien différemment dans les appareils branchiaux des insectes : ici l'oxygène passe immédiatement de l'état de dissolution dans l'eau à l'état de gaz élastique pour remplir les trachées, et servir à la respiration dans toutes les parties où ces trachées le transportent. Ainsi, à proprement parler, aucun insecte ne respire l'air dissout dans l'eau, comme le font les animaux à circulation pourvus de branchies ; tous les animaux de cette classe respirent l'air élastique, les uns en l'empruntant directement à l'atmosphère, les autres en opérant l'extraction de celui qui est dissout dans l'eau. Les branchies des insectes aquatiques diffèrent ainsi très-essentiellement de ce qu'on appelle également les *branchies* chez les animaux à circulation ; ces organes des insectes aquatiques sont, pour la respiration, des organes *préparatoires* destinés à rendre à l'air dissout dans l'eau l'état élastique, seul état sous lequel il puisse servir à la respiration des insectes. Comment, par quel mécanisme l'air dissout dans l'eau passe-t-il à l'état élastique et est-il introduit dans les trachées ramifiées à l'infini dans les branchies des insectes? C'est ce que l'on ignore entièrement.

J'ai pensé que la solution de ce problème pouvait se trouver dans l'étude de l'action réciproque de l'eau aérée et des différents gaz que contiennent les trachées des insectes ; l'air contenu dans ces organes est indubitablement de l'air atmosphérique que la respiration tend à priver en tout ou en partie de son oxygène, et auquel elle ajoute du gaz acide carbonique ; car tels sont les deux effets généraux de la respiration. Il fallait donc savoir ce qui arrive lorsque le gaz azote et le gaz acide carbonique sont en contact avec l'eau aérée. Ces phénomènes ont été étudiés par Dalton [1] et par MM. de Humboldt et Gay-Lussac [2]. On sait, par leurs expériences, que l'oxygène, mis en contact avec l'eau aérée, en déloge du gaz azote en s'y dissolvant, et que le gaz azote, en se dissolvant de même dans l'eau aérée, en déloge du gaz oxygène ; MM. de Humboldt et Gay-Lussac ont vu que 77 parties de gaz oxygène, en se dissolvant dans l'eau, en délogeaient 37 parties de gaz azote, et que 14 parties de gaz azote, en se dissolvant de même dans l'eau aérée, en délogeaient 11 parties de gaz oxygène ; ainsi, dans les deux expériences, ils ont vu diminuer le volume du gaz renfermé sous l'eau, puisque, dans l'une comme dans l'autre, ce gaz perdait plus par sa dissolution dans l'eau qu'il ne gagnait par l'adjonction du gaz qu'il délogeait de ce liquide. Le travail important dont il est ici question ne contient aucune expérience sur les résultats de la dissolution du gaz acide carbonique dans l'eau. J'ai répété et varié les expériences de MM. de Humboldt et Gay-Lussac sur la dissolution des gaz oxygène et azote dans l'eau aérée. J'ai obtenu les mêmes résultats généraux que ces deux habiles expérimentateurs, c'est-à-dire l'extraction du gaz azote de l'eau par la dissolution du gaz oxygène, et l'extraction du gaz oxygène de l'eau par la dissolution du gaz azote ; mais j'ai trouvé que les proportions relatives de ces gaz extraits et dissous n'étaient point toujours celles qu'ils indiquent ; ainsi j'ai constaté avec eux qu'un volume déterminé de gaz oxygène, en se dissolvant dans l'eau aérée, en extrait ou en déloge un volume moindre de gaz azote ; en sorte que l'on voit diminuer le volume du gaz qui est renfermé dans le récipient plongé sous l'eau. Mais, contradictoirement à ce qu'ils ont observé, j'ai vu que le volume du gaz azote qui se dissout dans l'eau tranquille est inférieur au volume du gaz oxygène qui se dégage de l'eau pendant cette dissolution,

[1] Memoirs of the Society of Manchester ; second series, vol. I, p. 271.

[2] Journal de physique, t. LX, p. 129.

en sorte que l'on voit augmenter le volume du gaz qui est renfermé dans le récipient. Je me suis assuré de ce résultat par un grand nombre d'expériences. Voici le détail de l'une d'elles : Je mis vingt centimètres cubes de gaz azote pur sous un petit récipient de verre que je plongeai renversé dans un bocal plein d'eau. Quinze jours après, je trouvai que le volume du gaz, qui était primitivement de 100, se trouvait porté à 106 ; il s'était accru environ d'un centimètre cube. Ce gaz se trouva composé de 0,90 d'azote et de 0,10 d'oxygène. Ainsi les 106 parties de ce gaz étaient composées de 95,4 parties d'azote et de 10,6 parties d'oxygène. Il en résulte que le gaz renfermé sous le récipient avait perdu, par la dissolution dans l'eau, 4,6 parties d'azote, et avait acquis, par extraction de l'eau, 10,6 parties d'oxygène. Ainsi l'eau avait livré à ce gaz environ deux fois et demie plus d'oxygène qu'elle ne lui avait enlevé d'azote. Dans une expérience semblable, dont je n'examinai les résultats qu'au bout de vingt-cinq jours, je trouvai sous le récipient un gaz composé de 0,79 d'azote et de 0,21 d'oxygène, c'est-à-dire de l'air atmosphérique, dont le volume était plus considérable que celui du gaz azote mis en expérience. Dans ces expériences, le gaz azote renfermé sous l'eau était en contact immédiat avec ce liquide ; il me fallait savoir si les résultats de ces expériences seraient les mêmes en renfermant du gaz azote sous l'eau, de laquelle il serait séparé par une membrane. Je pouvais, pour faire cette expérience, mettre de petites vessies pleines de gaz azote plonger dans l'eau d'un bocal ; ici une difficulté se présentait : toutes les matières organiques absorbent l'oxygène et surtout lorsqu'elles se pourrissent ; des vessies animales plongées dans l'eau passent assez rapidement à la putréfaction, il devait y avoir absorption de l'oxygène contenu dans leur cavité. C'est effectivement ce que j'expérimentai. Je remplis un cœcum de poule de gaz azote, et je le plongeai dans un bocal plein d'eau ; je disposai de même un autre cœcum rempli d'air atmosphérique. Dix jours après, je trouvai dans mes deux cœcums du gaz azote infect ; l'oxygène de celui qui contenait primitivement de l'air atmosphérique avait été complétement absorbé. Il me fallait donc, pour les expériences que je me proposais, rendre des vessies imputrescibles ; c'est ce que je fis en les tannant avec l'infusion d'écorce de chêne. Ayant rempli de gaz azote un cœcum de poule ainsi tanné, je le tins plongé dans un bocal plein d'eau pendant quinze jours. Je jugeai, à l'augmentation du gonflement du cœcum, que le gaz qu'il contenait avait augmenté de volume. L'analyse de ce gaz me fit voir qu'il était composé de 0,16 d'oxygène et de 0,84 d'azote. Ainsi il me fut démontré que le gaz azote, séparé de l'eau aérée par une membrane organique, extrait du gaz oxygène élastique de ce liquide, de la même manière que cela a lieu lorsque ce même gaz azote est en contact immédiat avec l'eau. On voit même que, dans l'expérience précédente, faite avec un cœcum tanné, l'azote a extrait de l'eau, dans l'espace de quinze jours, plus d'oxygène que n'en avait extrait dans le même temps l'azote mis en contact immédiat avec l'eau dans l'expérience rapportée plus haut ; cela dépend probablement de la différence de l'étendue des surfaces par lesquelles le gaz azote se trouve en rapport avec l'eau.

Après avoir rempli un cœcum de poule de gaz azote, je l'ai plongé dans de l'eau acidulée avec de l'acide nitrique ; j'ai établi une autre expérience semblable en acidulant l'eau avec de l'acide hydrochlorique. Ces deux acides étaient en quantité suffisante pour empêcher la putréfaction des vessies animales dans lesquelles le gaz azote était contenu. Au bout de quinze jours, je trouvai que le gaz contenu dans le cœcum plongé dans l'eau nitrique était composé de 0,89 d'azote et de 0,11 d'oxygène. Le gaz contenu dans le cœcum plongé dans l'eau hydrochlorique était composé de 0,85 d'azote et de 0,15 d'oxygène.

Dans toutes ces expériences, faites dans l'eau tranquille, il y eut constamment augmentation de volume du gaz mis en expérience ; il y eut moins de gaz azote

dissout dans l'eau qu'il n'y eut de gaz oxygène livré par l'eau aérée au gaz azote; les choses se passèrent différemment dans les mêmes expériences faites dans l'eau courante. Je mis vingt centimètres cubes de gaz azote sous un petit récipient de verre que je plongeai renversé dans une eau courante. Au bout de neuf jours, je trouvai le volume du gaz, supposé primitivement de 100 *parties,* réduit à 52 *parties,* c'est-à-dire à un peu plus de la moitié de son volume primitif. Ce gaz contenait 0,91 d'azote et 0,09 d'oxygène. Ainsi les 52 *parties* restantes du gaz contenaient seulement 43,3 *parties* du gaz azote primitivement mis en expérience, et il y avait été ajouté 4,7 *parties* de gaz oxygène. J'obtins des résultats analogues en mettant dans l'eau courante des vessies animales tannées remplies de gaz azote.

On voit, par ces expériences, que le gaz azote mis en contact immédiat avec l'eau aérée, ou bien séparé de ce liquide par une membrane perméable qui n'est réellement point un obstacle au contact immédiat du gaz et de l'eau, livre à ce dernier liquide du gaz azote qu'elle dissout, et lui enlève du gaz oxygène, lequel passe de l'état de dissolution à l'état élastique. Dans l'eau tranquille, la quantité du gaz azote dissout par l'eau est inférieure à la quantité du gaz oxygène que l'eau fournit au gaz azote, en sorte que le volume du gaz renfermé sous l'eau se trouve augmenté; dans l'eau courante, au contraire, la quantité du gaz azote dissout par l'eau est de beaucoup supérieure à la quantité du gaz oxygène que l'eau fournit au gaz azote, en sorte que le volume du gaz renfermé sous l'eau se trouve diminué. L'eau courante, en dissolvant une quantité considérable de l'azote avec lequel elle se trouve en contact, ne laissant pas de lui fournir de l'oxygène, il en résulte que le gaz azote restant se trouve associé à une quantité d'oxygène d'autant plus forte proportionnellement qu'il y a eu plus d'azote dissout. Ainsi, par les expériences précédentes, on voit que lorsque le gaz azote renfermé sous l'eau tranquille est devenu au bout de quinze jours un mélange de 0,90 d'azote et de 0,10 d'oxygène, la même quantité de gaz azote renfermée sous l'eau courante est devenue, au bout de neuf jours seulement, un mélange de 0,91 d'azote et de 0,09 d'oxygène. Lorsque, au lieu de gaz azote pur, j'ai employé, pour ces expériences, du gaz azote associé à une quantité d'oxygène inférieure à celle qui existe dans l'air atmosphérique, j'ai obtenu des résultats analogues; toujours j'ai vu le gaz submergé céder de l'azote à l'eau et lui ravir du gaz oxygène, et cela jusqu'à ce que ces deux gaz fussent dans les proportions où ils se trouvent dans l'air atmosphérique. Alors la composition du gaz renfermé sous le récipient ne changeait plus. Il est remarquable que cette recomposition de l'air atmosphérique est de même le résultat final que l'on obtient en renfermant du gaz oxygène dans un récipient plongé sous l'eau. Actuellement on va voir que c'est encore de l'air atmosphérique qui remplace, mais sous un bien plus petit volume, le gaz acide carbonique livré sous un récipient à la dissolution par l'eau. Comme ce gaz est très-soluble dans l'eau, je devais opérer sur une quantité de ce gaz plus considérable que celle à laquelle je m'étais borné pour le gaz azote.

Je mis 270 centimètres cubes de gaz acide carbonique sous un récipient de verre que je plongeai renversé dans un grand vase rempli d'eau de pluie. Trois jours après, je trouvai le volume du gaz réduit à huit centimètres cubes environ. Ce gaz ayant été lavé avec de l'eau de chaux, se trouva réduit à sept centimètres cubes environ, ou à la 38e partie du volume du gaz acide carbonique qui avait été mis en expérience. L'analyse eudiométrique me fit voir que ce gaz restant était composé d'oxygène et d'azote dans les proportions où ces gaz se trouvent dans l'air atmosphérique. Je dois dire que je m'étais assuré que le gaz acide carbonique mis en expérience ne contenait point primitivement d'air atmosphérique. J'ai répété plusieurs fois cette expérience et toujours j'ai trouvé, après la dissolution du gaz acide carbonique dans l'eau,

de l'air atmosphérique dont la quantité a varié de la 38e à la 45e partie du volume du gaz acide carbonique dissout. Il m'a paru que la quantité de l'eau et l'étendue de la surface par laquelle le gaz acide carbonique était en rapport avec elle, influait sur la quantité de l'air atmosphérique qui se dégageait de ce liquide pendant qu'il dissolvait le gaz acide carbonique. Je me borne ici à l'exposition de ces faits sans m'occuper de leur théorie physique, et je reviens à la respiration des insectes. Les problèmes que cette fonction offrait à résoudre vont actuellement trouver facilement leur solution.

Les trachées des insectes aquatiques qui sont pourvus de branchies contiennent de l'air élastique, comme celles des insectes qui respirent immédiatement l'air atmosphérique. Cet air contenu dans les trachées des insectes devient nécessairement privé en tout ou en partie de son oxygène, et se charge de gaz acide carbonique; car tels sont les effets nécessaires de la respiration. Les trachées branchiales des insectes aquatiques sont situées superficiellement et en contact presque immédiat avec l'eau aérée ambiante. Les actions instinctives de l'insecte renouvellent sans cesse le contact de cette eau aérée sur les branchies, en sorte que celles-ci sont comme si elles étaient placées dans une eau courante. Il résulte de là que le gaz azote en excès dans les trachées doit se dissoudre dans l'eau ambiante qui imbibe leurs parois, et qu'en retour l'eau aérée doit livrer du gaz oxygène élastique au gaz azote renfermé dans les trachées. On voit de cette manière comment doit s'opérer la restitution de l'oxygène à l'air qui a été altéré par la respiration dans les trachées de l'insecte aquatique; c'est à la présence dans les canaux d'un excès de gaz azote que cet effet est dû. Mais ce gaz azote lui-même se dissolvant dans l'eau ambiante finirait par disparaître tout à fait, si la perte de volume qu'il éprouve continuellement n'était pas réparée. Ce second effet est dû à la dissolution dans l'eau du gaz acide carbonique contenu dans les trachées, et qui y est formé sans cesse par l'acte de la respiration. On vient de voir, en effet, que le gaz acide carbonique, en se dissolvant dans l'eau, en extrait du gaz azote et du gaz oxygène dans les proportions qui forment l'air atmosphérique, c'est-à-dire environ quatre fois plus d'azote que d'oxygène. Cet azote sert à réparer la perte de celui qui est dissout, et l'oxygène qui l'accompagne augmente le volume de celui qui a déjà été introduit au moyen de la dissolution de l'azote. Probablement aussi l'introduction de l'oxygène dans les liquides organiques en extrait-il du gaz azote qui, versé dans les trachées, sert également à réparer la perte de celui qui est dissout. On sait, en effet, par les belles recherches de M. Milne Edwards, qu'il y a souvent du gaz azote exhalé dans la respiration. C'est par ces divers moyens que s'entretiennent l'état respirable de l'air contenu dans les trachées branchiales des insectes aquatiques et le volume indispensable de cet air. Les *modifications* réparatrices que l'air a subies *dans* les branchies se propagent rapidement dans toutes les trachées qui se ramifient dans le corps de l'insecte, en vertu de la propriété qu'ont tous les fluides miscibles d'établir entre toutes leurs parties une parfaite égalité de mixtion. On sait, par les expériences de Dalton et de Berthollet, que les gaz jouissent spécialement de cette propriété, et que leur tendance à une rapide mixtion ne trouve même point d'obstacle dans la différence de leur pesanteur spécifique. On conçoit que cette mixtion des gaz doit surtout être très-rapide lorsque les appareils dans lesquels elle a lieu sont fort petits. Ainsi, chez des insectes, qui tous n'ont que de petites dimensions, l'oxygène introduit dans les trachées branchiales, et ajouté à l'azote ou à l'air atmosphérique privé d'une partie de son oxygène qu'elles contiennent, doit, en vertu de la tendance à l'égalité de mixtion, se porter fort rapidement dans toutes les autres trachées.

L'action par laquelle l'eau dissout le gaz azote et lui livre en échange du gaz oxygène est une action assez lente; aussi ce mode de réparation de l'air altéré par la res-

piration ne peut-il convenir qu'à des masses d'air fort petites, telles que le sont les masses d'air qui sont disséminées dans les ramifications des trachées branchiales des insectes aquatiques. La petitesse extrême de ces masses d'air vicié par la respiration, fait qu'elles peuvent être très-rapidement restituées à l'état d'air atmosphérique pur au moyen du mécanisme que j'ai indiqué. Au reste, cette petitesse extrême des appareils que nous observons dans les trachées des insectes n'est point une condition indispensable dans le cas dont il s'agit ici; car l'observation démontre que dans des appareils, petits sans doute, mais considérablement moins que ne le sont les trachées, l'air peut être entretenu à l'état respirable par la dissolution du gaz azote et du gaz acide carbonique dans l'eau aérée, qui laisse dégager du gaz oxygène en échange du premier et de l'air atmosphérique en échange du second. Je trouve la preuve de cette assertion dans un fait curieux dont l'observation première est due à Réaumur [1]. Sur les feuilles submergées du *potamogeton lucens* vit une chenille qui passe tout le temps de sa vie de larve et de chrysalide entièrement plongée sous l'eau; et cependant, organisée pour vivre dans l'air, elle doit être constamment environnée par ce gaz et tenue à l'abri de l'eau dans laquelle elle se noierait. Pour maintenir son existence paradoxale, la chenille se fabrique une coque de soie protégée en dehors par des morceaux de feuilles de potamogeton. Cette coque est ouverte, et son intérieur contient de l'air au milieu duquel elle vit. Lorsqu'elle se métamorphose en nymphe, elle ferme complétement sa coque qui continue à contenir de l'air. Ce n'est que lorsqu'il devient papillon que cet insecte sort de l'eau. Ainsi, pendant qu'il est chenille et nymphe, il vit sous un appareil tout semblable à la cloche du plongeur; quoique constamment submergées, la chenille et la nymphe vivent dans l'air, et cet air ne cesse point d'être propre à la respiration, quoiqu'il n'éprouve aucun renouvellement apparent. Ce phénomène trouve facilement son explication dans les faits qui ont été exposés plus haut. La respiration de la chenille épuise l'oxygène de l'air qui l'environne; l'azote restant se dissout dans l'eau et en extrait du gaz oxygène; en même temps le gaz acide carbonique produit par la respiration se dissout dans l'eau, et en extrait de l'air atmosphérique dont l'oxygène sert à la respiration, et dont l'azote répare la perte du gaz azote dissout. Ces mêmes phénomènes ont lieu au travers des parois perméables de la coque de soie qui renferme complétement la chrysalide avec sa petite provision d'air. Il n'est pas besoin, sans doute, de cet exemple pour prouver combien la nature est admirable dans sa variété; toutefois n'est-il pas singulièrement curieux de voir un animal qui ne peut vivre que dans l'air, condamné à vivre constamment submergé et sous une cloche de plongeur dans laquelle l'air altéré par sa respiration se renouvelle tout seul? Ce phénomène prouve que si les grands animaux ont leurs priviléges, les petits animaux ont aussi les leurs. Ces derniers, en effet, peuvent seuls employer d'une manière utile certaines actions physiques dont le peu de vitesse se trouve en rapport d'harmonie avec le peu d'étendue de leurs appareils.

[1] Mémoire pour servir à l'histoire des insectes, tome II, Mémoire 10.

XXIV.

OBSERVATIONS

SUR

LA SPONGILLE RAMEUSE

(*Spongilla ramosa* Lamarck, *Ephydatia lacustris* Lamouroux) [1].

Nous ne connaissons point encore la véritable nature des éponges; ces êtres, situés sur la limite qui sépare le règne animal du règne végétal, semblent appartenir également à ces deux règnes. On sait que ces productions singulières sont composées d'un tissu fibreux encroûté, d'une sorte de gelée qui parait de nature animale, et dans laquelle cependant les observateurs les plus habiles n'ont jamais pu apercevoir le moindre signe d'irritabilité. Les spongilles qui croissent dans les eaux douces offrent à peu près la même organisation que les éponges de mer. J'ai observé ces spongilles avec beaucoup de soin; elles m'ont offert des faits nouveaux et assez curieux.

La spongille rameuse croît dans les eaux stagnantes, fixée aux pierres ou aux corps solides qui s'y trouvent; j'en ai observé une, entre autres, d'une étendue considérable, qui s'était développée sur la face inférieure d'une pièce de bois flottante dans une pièce d'eau; cette spongille formait une plaque circulaire de plus de six pouces de largeur sur six lignes d'épaisseur au centre; elle allait en s'amincissant par ses bords. Cette production répandait une forte odeur marécageuse; elle était de couleur verte, et contenait dans son intérieur une immense quantité de corps oviformes de couleur jaune, et qui adhéraient au tissu fibreux : ce dernier formait une multitude de cavités, comme chacun sait que cela existe dans les éponges. Ces cavités, ainsi que la surface générale de la spongille, étaient revêtues, non d'une gelée, mais d'une membrane fine et diaphane semblable à un épiderme. Dans l'intérieur de ces cavités se trouvait une substance caséiforme extrêmement divisée, et dont les flocons nageaient dans un fluide aqueux. Lorsqu'on divisait le tissu de la spongille, cette substance caséiforme et le fluide aqueux dans lequel elle était en suspension se répandaient dans l'eau environnante, et la troublait en lui donnant un aspect laiteux. La spongile s'étendait en s'accroissant progressivement par ses bords qui étaient fort minces et blanchâtres, tandis que les parties plus anciennes étaient de couleur verte. Les corps oviformes existaient dans les parties les plus nouvelles, comme dans les

[1] Ce Mémoire a été publié en 1828 dans le tome xv des Annales des Sciences naturelles.

plus anciennes; mais dans celles-ci ils étaient de couleur jaune, tandis que dans celles-là ils étaient de couleur verte. Dans le principe ils étaient blanchâtres, et pour les voir il fallait laisser putréfier le tissu de la spongille dans l'eau qui dissolvait la partie molle de ce tissu, et mettait ainsi les corps oviformes naissants à découvert.

Pendant tout le cours de la première année que j'observai cette spongille, elle conserva sa forme aplatie en s'étendant toujours sur la surface inférieure du bois flottant qui la portait. La seconde année, je continuai à l'observer, et je vis que d'un grand nombre de points de la surface de cette plaque il partit des excroissances allongées et renflées par leur extrémité en forme de massue, et longues d'environ deux pouces sur six lignes de grosseur à leur extrémité; ces excroissances, dont la substance était en tout semblable à celle du corps de la spongille, étaient pendantes dans l'eau. Pour observer cette spongille, j'en plaçai des fragments dans des vases pleins d'eau, et je les examinai à la loupe. Ainsi renfermée dans des vases, cette production ne conservait pas très-longtemps son état de vie. Sa mort se dénotait par sa putréfaction qui répandait une odeur tout à fait semblable à celle qui résulte de la putréfaction des matières animales. Cette putréfaction attaquait spécialement la membrane diaphane qui revêtait l'extérieur de la spongille, et qui tapissait les cavités situées dans son intérieur. Le tissu fibreux, surtout celui qui était le plus ancien, restait intact, ainsi que les corps oviformes. C'était donc spécialement cette membrane diaphane qui présentait les caractères des substances animales; c'était chez elle par conséquent qu'il fallait chercher d'autres caractères d'animalité, qu'on devait supposer y exister. Ce fut en vain que j'irritai cette membrane avec la pointe d'une aiguille; il ne s'y manifesta aucune contraction, aucun mouvement spontané. Un fait cependant me prouva que cette membrane jouissait d'une vie très-active. Ayant placé deux fragments de spongille l'un sur l'autre, et de manière qu'ils étaient en contact par leur surface extérieure munie de sa membrane diaphane, ces deux fragments furent tellement adhérents l'un à l'autre au bout de vingt-quatre heures, que je ne pus les séparer que par un déchirement; ils s'étaient réunis en une seule masse, de manière à ne plus former qu'un seul tout organique, et cela par le fait d'une sorte de greffe. En observant des fragments de cette spongille à la loupe, je remarquai à sa surface des endroits où la membrane diaphane était soulevée par de l'eau accumulée au-dessous d'elle; cette membrane, ainsi détachée du tissu fibreux qu'elle revêtait, formait tantôt des sortes de canaux irréguliers, tantôt de petites éminences coniques. Bientôt je vis quelques-unes de ces éminences ou protubérances coniques se percer à leur sommet, et dès lors il s'établit par cette ouverture un courant d'eau continu, lequel sortait de l'intérieur de la spongille, et entraînait de temps en temps avec lui quelques fragments de cette matière caséiforme qui existe dans les cavités de la spongille, et dont j'ai déjà parlé plus haut. Je distinguais l'existence de ce courant continu au moyen des corps légers qui flottaient suspendus dans l'eau, et qui étaient repoussés avec vivacité quand ils se trouvaient vis-à-vis de l'ouverture par laquelle l'eau était chassée. Je crus d'abord que ce courant d'eau continu était produit par de petits entomostracés logés dans l'intérieur des cavités de la spongille, mais bientôt j'acquis la certitude que telle n'était point la cause de ce phénomène. Ayant isolé, dans un petit vase rempli d'eau très-pure, un fragment de spongille qui n'offrait aucune de ces protubérances membraneuses, j'y vis, dès le lendemain, naître une de ces protubérances : elle grandit peu à peu, et le deuxième jour elle se perça à son sommet, et dès lors elle vomit de l'eau sans interruption. Le fragment de spongille n'avait que trois à quatre lignes dans toutes ses dimensions; il me fut facile d'en explorer toutes les parties à la loupe, en le réduisant en petits fragments, et je n'y trouvai pas un seul entomostracé. Ainsi il me fut

démontré que l'eau est chassée hors de la spongille par une force propre à cet être vivant lui-même. Quelque attention que j'aie apportée à l'observation, il m'a été impossible d'apercevoir par où cette eau, sans cesse expulsée, s'introduisait dans l'intérieur de la spongille, en sorte qu'il me paraît certain que cette eau est introduite insensiblement par l'absorption que la spongille exerce par toute l'étendue de sa surface. Au reste, il est bon de faire observer que ces petites protubérances qui vomissent de l'eau n'existent pas toujours ; j'ai vu des spongilles qui n'en offraient pas une seule ; elles me paraissent donc être des productions accidentelles, et j'attribue leur formation à l'effort que fait l'eau contenue dans l'intérieur de la spongille pour en sortir. La membrane enveloppante, se trouvant faible en certains endroits, s'y laisse distendre, et forme alors des protubérances ou de petites vessies qui se crèvent à leur sommet pour laisser échapper, en jet continu, l'eau qui, sans cet accident, serait échappée d'une manière insensible et par filtration au travers des parois de la membrane enveloppante. L'expulsion continuelle de l'eau prouve son introduction également continuelle par l'absorption insensible ; par conséquent, lorsqu'il n'existe point pour l'eau introduite de voie d'expulsion en masse, elle doit être expulsée d'une manière insensible, c'est-à-dire de la même manière qu'elle est introduite.

Les petites protubérances vomissant de l'eau, dont il est ici question, ne sont formées qu'aux dépens de la membrane diaphane qui revêt la spongille, ainsi que je viens de l'exposer. Je n'ai reconnu dans ces protubérances aucun signe d'irritabilité sous l'influence des stimulants, et cependant elles offrent un changement perpétuel de forme qui ne peut avoir sa source que dans un mouvement spontané. C'est à la loupe qu'il faut faire ces observations, car ces protubérances sont fort petites. Si l'on observe soigneusement la forme de l'une de ces protubérances et qu'on vienne à l'examiner de nouveau un quart d'heure ou une demi-heure après, on ne lui trouve plus exactement la même forme ; plus tard, le changement de forme est encore plus considérable. On voit la protubérance, d'abord de forme conique et versant de l'eau par son sommet, s'allonger en un boyau qui tantôt se renfle à son extrémité, tantôt se renfle dans son milieu ; ces renflements augmentent ou diminuent, changent de place, disparaissent et reparaissent tour à tour, et il en résulte toutes sortes de formes ; quelquefois ce boyau se bifurque à son extrémité par la production d'une sorte de rameau qui finit bientôt par se percer aussi à son extrémité, par laquelle il s'établit aussi un courant d'eau. J'ai vu une fois ce rameau tubuleux latéral ne point se percer et, après avoir terminé son élongation, se raccourcir, diminuer peu à peu de volume et finir par disparaître entièrement ; sa substance rentra dans la composition du tube principal dont elle était sortie, et il n'en resta aucune trace ; ces conduits membraneux étaient maintenus dans un état de turgescence par l'eau qui affluait dans leur intérieur et que versait rapidement l'ouverture de leur extrémité ; ils s'affaissaient sur-le-champ lorsque je pratiquais à leur base une ouverture qui livrait passage à l'eau. On pourrait peut-être croire que ces conduits membraneux seraient des polypes, et que l'apparence d'un courant d'eau continu sortant par leur extrémité ne serait qu'une illusion d'optique produite par le tourbillonnement que ces polypes produiraient dans l'eau environnante pour attirer les corps dont ils feraient leur nourriture, mais il n'en est rien ; on voit très-distinctement, au travers des parois diaphanes de ces conduits membraneux, couler l'eau qui entraîne avec elle des fragments de la matière caséiforme qui remplit les cavités de la spongille et qui sont expulsés avec l'eau qui les charrie : cette expulsion ne souffre aucune interruption ; ainsi ces conduits membraneux ne sont bien certainement point des polypes.

J'ai conservé dans l'eau d'un vase, pendant l'hiver, un fragment de spongille fixé sur un morceau de bois ; toutes les

parties molles de cet être vivant ne tardèrent pas à se dissoudre par la putréfaction, et il n'en resta que les fibres les plus grosses auxquelles étaient fixés d'innombrables corps oviformes de couleur jaune : j'eus soin de changer de temps en temps l'eau du vase dans lequel se trouvait ce fragment de spongille. Au printemps je vis cette production *renaître*, pour ainsi dire; elle reprit sa couleur verte, s'accrut et se couvrit de sa pellicule membraneuse qui avait totalement disparu pendant l'hiver. Durant cet accroissement, je vis peu à peu se flétrir les corps oviformes qui furent bientôt réduits à ne plus offrir qu'une coque aplatie et entièrement vide. L'eau du vase dans lequel était la spongille était très-pure et ne pouvait fournir de matériaux pour l'accroissement de cette production; ainsi il n'y a pas de doute que cet accroissement n'eût été opéré aux dépens de la substance organique que contenaient dans le principe les corps oviformes : ces corps sont donc des espèces de tubercules, ce sont des réservoirs de matière nutritive pour servir au développement du végétal, et à sa production au printemps; je dis *du végétal*, car tout prouve que la spongille en est un; elle a la couleur verte des végétaux, elle forme une expansion membraneuse qui s'accroît par ses bords de la même manière que certaines vulves; elle possède des sortes de tubercules reproducteurs comme les végétaux; elle ne paraît se rapprocher des animaux que par la composition chimique de la membrane diaphane qui tapisse sa surface extérieure et celle de ses cavités, et par les mouvements singuliers auxquels sont dus les changements de forme des conduits tubuleux que produit quelquefois cette membrane. Cette production ne contient point de polypes, elle n'a point de cavités alimentaires, elle se nourrit exactement comme les végétaux, au moyen de l'absorption de l'eau chargée de substances nutritives en dissolution; en un mot, c'est un végétal dont la composition chimique est pareille, jusqu'à un certain point, à celle des tissus animaux.

Les changements spontanés qui surviennent dans les formes des conduits membraneux, qui vomissent continuellement de l'eau, méritent une attention particulière.

Ces changements de forme ne dépendent point de la contraction, puisqu'il est prouvé par l'expérience que ce mouvement vital n'appartient point du tout à l'enveloppe membraneuse qui tapisse la spongille; d'ailleurs ces changements de forme s'opèrent tantôt dans le sens de la dilatation, tantôt dans celui du resserrement, tantôt dans le sens de l'allongement, tantôt dans celui du raccourcissement; tantôt il y a production de ramifications tubuleuses nouvelles, tantôt ces ramifications tubuleuses rentrent dans le tronc qui les a produites sans laisser aucune trace de leur existence. Il y a évidemment dans ces phénomènes de mouvement autre chose que de *l'irritabilité*. J'ai vu que, lorsqu'il arrivait à une portion de la production tubuleuse de prendre un plus grand diamètre, cela ne s'opérait qu'aux dépens des portions voisines qui perdaient une partie de leur largeur, en sorte qu'il m'était bien démontré qu'il s'opérait dans cette circonstance un transport de la matière composante d'une partie du tube dans la partie voisine. Le même phénomène avait lieu lors de la production d'un rameau, et lors de la disparition de ce rameau : dans le premier cas, la matière composante du tronc se portait vers la production nouvelle pour la former; dans le second cas, la matière composante du rameau retournait dans le tronc duquel elle était sortie. L'extrême ténuité de cette membrane, et sa grande transparence, permettaient de voir que, dans cette dernière circonstance, il n'y avait point de parties qui rentrassent les unes dans les autres, comme on pourrait peut-être le croire. Tous ces changements de forme dépendaient très-évidemment d'un mouvement des molécules qui composaient le tissu de la membrane tubuleuse. Pour saisir la nature de ce singulier phénomène, il était nécessaire de connaître la texture de cette membrane; je

l'ai donc soumise au microscope, et j'ai vu qu'elle est entièrement composée de globules probablement vésiculaires. Les changements qui surviennent dans les dimensions des différentes parties de cette membrane tubuleuse, étant, comme je l'ai dit plus haut, les résultats d'un transport de matière d'une place dans une autre, il en résulte que ces changements sont dus à un mouvement de transport des globules élémentaires d'un lieu dans un lieu voisin; ces globules élémentaires ne sont point immobiles dans leur adhérence mutuelle; ils se meuvent les uns sur les autres sans quitter leur adhérence par une sorte de *glissement*, et cela par l'effet d'une force inconnue qui appartient au tissu vivant; ce *glissement spontané* des globules élémentaires les uns sur les autres s'opère dans une direction déterminée, et qui est la même pour tous ceux qui composent une même partie, en sorte que leurs mouvements combinés tendent à un seul et même but : ce but est tantôt l'augmentation, tantôt la diminution du diamètre du tube membraneux, tantôt la production d'un rameau sur le tronc de ce tube, tantôt la rentrée de ce rameau dans le tronc. Ces changements sont trop lents pour que le mouvement qui les opère puisse être saisi par l'œil de l'observateur : il en est de ce mouvement comme de celui des aiguilles d'une montre, mouvement que l'œil ne saisit pas, mais dont on voit les résultats. Toutefois ces changements sont aussi trop prompts pour qu'il soit possible de les attribuer à la nutrition ou à une introduction de nouvelles molécules. Il ne faut, comme je l'ai dit, qu'un quart d'heure, et même quelquefois moitié moins, pour voir s'opérer les changements les plus remarquables dans la forme, dans les dimensions respectives des différentes parties des tubes membraneux ou des vessies membraneuses dont il est ici question. Le glissement spontané des globules élémentaires les uns sur les autres, est donc ici un fait démontré, et ce fait est de la plus haute importance en physiologie. C'est une *action vitale* nouvelle qui joue certainement un des principaux rôles dans le phénomène de l'accroissement en longueur des végétaux, accroissement qui est quelquefois d'une rapidité singulière.

Il reste à déterminer quelle est la cause de l'expulsion de l'eau que versent sans interruption, par leur sommet, les productions membrano-tubuleuses dont il est ici question.

Il me paraît hors de doute que cette expulsion dépend de l'endosmose ou de l'introduction continuelle de l'eau ambiante dans les cavités de la spongille, cavités remplies d'un fluide organique plus dense que cette eau ambiante : cette eau, sans cesse affluente dans l'intérieur de la spongille, chasse l'eau précédemment introduite. Ces deux mouvements contraires d'introduction et d'expulsion, d'*absorption* et d'*exhalation*, ont lieu d'une manière peu sensible lorsque les conduits d'expulsion dont il est ici question n'existent point, ce qui arrive souvent : alors, en examinant à la loupe l'eau dans laquelle est plongée la spongille, on observe que les corps très-légers qui sont tenus en suspension par l'eau éprouvent un mouvement faible, mais continuel, dans le voisinage de la spongille; cela prouve que cette dernière produit dans l'eau des courants imperceptibles, mais non interrompus; ces courants deviennent perceptibles quand existent les conduits membrano-tubuleux qui vomissent continuellement de l'eau. Il est évident que ces conduits offrant à l'eau qui cherche à sortir de la spongille une issue large et libre, ce fluide s'y précipite et sort en masse par cette ouverture, au lieu de filtrer lentement au travers de la membrane enveloppante.

J'ai parlé transitoirement de ces phénomènes que présente la spongille rameuse, dans mon ouvrage intitulé : *L'agent immédiat du mouvement vital dévoilé dans sa nature et dans son mode d'action*, publié en 1826 (page 179). Depuis ce temps, il a paru dans un journal scientifique d'Édimbourg des observations sur la structure et les fonctions des éponges de mer, par M. Grant : un extrait de ce travail a

paru dans les Annales des Sciences naturelles (juin 1827, t. xi, p. 150). Les observations de M. Grant, sur les éponges, sont entièrement semblables à celles que j'ai faites sur les spongilles; relativement à l'expulsion continuelle de l'eau par certains orifices qui rejettent en même temps au dehors une sorte de matière caséiforme excrémentitielle. Ainsi les éponges offrent, comme les spongilles, des fontaines dont l'écoulement ne souffre aucune interruption. M. Grant a prouvé l'absence complète de l'*irritabilité* dans les éponges, comme je l'ai prouvée par rapport à la spongille rameuse; mais, il n'a point vu chez les éponges ce singulier et continuel changement de formes qui a lieu dans les productions tubuleuses qui vomissent continuellement de l'eau chez la spongille. Je n'avais point encore publié cette curieuse observation, et je pense que cette annonce portera les observateurs à rechercher si le même phénomène a également lieu chez les éponges. Au reste, M. Grant a acquis la certitude de ce fait, que les éponges ne sont point des agrégats ou des habitations de polypes, comme l'ont prétendu quelques naturalistes, et MM. Audouin et Milne Edwards viennent de vérifier tout récemment ce fait. On a vu plus haut que j'ai acquis la même certitude par rapport aux spongilles. Enfin M. Grant a fait cette observation neuve et curieuse que les corps oviformes, ou les prétendus œufs de l'éponge, lorsqu'ils sont détachés et devenus libres, sont animés de mouvements spontanés comme des animaux. Je n'ai point fait cette observation sur les corps oviformes de la spongille, que je regarde comme des sortes de tubercules. Lorsque M. Grant a publié ses Observations, il est fort probable qu'il ne connaissait point les miennes, dont je n'avais fait mention que d'une manière transitoire dans l'ouvrage cité plus haut : or, la parfaite concordance de ces observations isolées devient une preuve de leur exactitude.

XXV.

OBSERVATIONS

SUR LES ORGANES DE LA GÉNÉRATION

CHEZ LES PUCERONS [1].

Lorsque Leuwenhoeck eut annoncé que les pucerons étaient vivipares et qu'il soupçonnait qu'ils se reproduisaient sans aucun accouplement, les recherches des naturalistes se portèrent avec empressement vers cet objet. Réaumur constata qu'ils étaient effectivement vivipares; il essaya d'élever des pucerons dans une parfaite solitude, à partir du moment de leur naissance, pour voir s'ils donneraient le jour à de nouveaux pucerons sans aucun accouplement; ses essais furent infructueux. Les pucerons qu'il élevait périrent sans lui avoir rien appris à cet égard.

C'était à Bonnet qu'il était réservé d'apprendre au monde savant ce fait qui confondait toutes les idées reçues. Il parvint à élever des pucerons dans une parfaite solitude, en les prenant à l'instant où ils venaient de naître, et, au bout de quelques jours, il vit ces pucerons, soigneusement isolés, donner naissance à des petits vivants. Il suivit cette observation, et, ayant tenu de même dans un isolement parfait les pucerons nés du premier puceron solitaire, il les vit également donner naissance à de nouveaux pucerons. Il observa de cette manière neuf *générations* successives de pucerons, nés sans aucun accouplement. Cependant il y a chez ces insectes des mâles et des femelles, et ce fut encore Bonnet qui observa le premier leur accouplement. En automne, il vit de petits pucerons ailés s'accoupler avec les femelles, beaucoup plus grosses qu'eux. Après cet accouplement il ne vit plus naître de petits vivants; les pucerons pondirent des œufs que Réaumur et Bonnet penchaient à considérer comme des fœtus avortés, parce qu'ils ne les virent point éclore. Lyonnet, plus heureux, vit éclore les œufs du puceron du chêne. Quelle est donc l'organisation singulière de ces insectes, qui sont vivipares sans accouplement pendant toute la belle saison, et qui ne s'accouplent et ne deviennent ovipares qu'aux approches de l'hiver? Réaumur penche vers l'opinion que les pucerons sont hermaphrodites, tout en déclarant qu'il croit impossible aux naturalistes d'éclaircir cette question à cause de l'extrême petitesse de ces insectes. La dissection

[1] Ces observations, lues à l'Académie des Sciences dans la séance du 14 décembre 1818, n'ont été publiées qu'en 1833 dans le tome xxx des Annales des Sciences naturelles.

des pucerons est très-délicate, sans doute, mais elle n'est point impossible, surtout en s'adressant aux plus grosses espèces.

Les plus gros pucerons que l'on connaisse vivent sur le chêne; ils ont été décrits par Réaumur et par Bonnet. J'en ai trouvé d'autres qui ne leur sont pas beaucoup inférieurs en grosseur; ils vivent sur la chicorée sauvage (*cichorium intibus*), c'est sur eux que j'ai fait les observations suivantes :

Les femelles, lorsqu'elles ont acquis tout leur développement, ont trois millimètres de longueur, et leur abdomen a un millimètre et demi de largeur. Cette grosseur est suffisante pour qu'il soit possible d'observer avec facilité leur organisation interne, mais il n'en est pas de même des mâles; ceux-ci, qui ne paraissent que dans le mois d'octobre, sont tous dépourvus d'ailes, tandis que les femelles en possèdent quelquefois; ils sont bien moins longs que ces dernières, et leur abdomen est fort grêle, ce qui rend leur dissection très-difficile.

Les organes de la génération des femelles offrent un ovaire composé de dix branches qui aboutissent au même point de l'oviducte; je n'en ai représenté que quatre dans la figure 1, pl. 30, *c*, afin d'éviter la confusion. En examinant au microscope ces branches, placées sur une lame de verre, on voit qu'elles contiennent des fœtus d'autant plus gros qu'ils sont plus voisins de l'oviducte. Ces fœtus ont une demi-transparence et une couleur jaunâtre; on distingue leur forme; on voit leurs yeux qui sont noirs; ils ont tous leur derrière tourné vers l'oviducte, ce qui coïncide avec l'observation de Bonnet, qui a vu les pucerons naître à reculons. Chez les fœtus qui sont les plus voisins de la pointe des branches des ovaires, on cesse d'apercevoir les yeux; ces derniers fœtus ne sont que de petites masses globuleuses semblables à des œufs.

Au-dessous de l'endroit où les branches de l'ovaire aboutissent dans l'oviducte *a*, s'ouvre dans ce dernier un canal assez long, lequel tire son origine d'une vésicule *b* (figure 1). Je rechercherai tout à l'heure quelle est la nature de cet organe.

Les observations précédentes avaient été faites dans le courant de l'été, époque à laquelle les pucerons sont vivipares; je renouvelai ces observations dans le milieu du mois d'octobre; alors je ne trouvai plus de fœtus dans les ovaires des puceronnes; il n'y avait que des œufs, d'autant plus gros qu'ils étaient plus voisins de l'oviducte. On sait en effet qu'à cette époque de l'année les pucerons cessent d'être vivipares, et c'est aussi alors qu'apparaissent les mâles qui fécondent leurs œufs.

Les organes préparateurs de la semence, chez les pucerons mâles de l'espèce dont il est ici question, consistent, de chaque côté, dans quatre vésicules *b, b* (fig. 2, pl. 30) qui aboutissent à un canal déférent *a*, lequel se réunit à son analogue du côté opposé pour former un canal unique. D'après cette structure de l'organe sécréteur de la semence chez le puceron mâle, on pourrait peut-être penser que la vésicule *b* (figure 1), qui existe chez le puceron femelle, et qui possède de même un canal excréteur, serait un organe sécréteur de sperme, lequel ne différerait de celui des mâles que par sa plus grande simplicité, ne possédant qu'une seule vésicule au lieu de quatre qui existent de chaque côté chez ces derniers. D'après cette manière de voir, les puceronnes seraient hermaphrodites; elles se féconderaient elles-mêmes, et cela expliquerait pourquoi elles peuvent se passer d'accouplement; mais cette hypothèse ne peut soutenir un examen approfondi; on se demanderait d'abord pourquoi les pucerons se passeraient d'accouplement pendant l'été et en auraient besoin en automne; leur prétendu organe mâle cesserait donc alors de remplir ses fonctions. Si ensuite on vient à jeter les yeux sur l'organisation que possèdent les femelles de plusieurs espèces d'insectes, on voit que chez elles on rencontre fréquemment un organe vésiculaire semblable à celui que j'ai trouvé chez les puceronnes. Cet organe, qui a été vu par Swammerdam, par Malpighi, par de Geer, par Roësel,

et en dernier lieu par M. Léon Dufour [1] paraît avoir pour fonction de produire la liqueur visqueuse qui est destinée à coller les œufs aux corps sur lesquels l'insecte les dépose; du moins c'est, à cet égard, l'opinion commune. Ce qu'il y a de certain, c'est que ce n'est pas un organe mâle, puisque les femelles d'insectes chez lesquelles il a été observé par les naturalistes que je viens de citer ne se fécondent point elles-mêmes. Il faut donc renoncer à trouver chez les pucerons l'hermaphrodisme soupçonné par Réaumur, et s'en tenir, par conséquent, à l'idée émise par Trembley, que l'accouplement opéré en automne féconde toutes les générations des femelles qui se succèdent pendant le cours du printemps et de l'été de l'année suivante.

[1] Recherches anatomiques sur les scolies et sur quelques autres insectes hyménoptères. (Journal de physique, septembre 1818.)

XXVI.

DE L'USAGE PHYSIOLOGIQUE

DE L'OXYGÈNE,

CONSIDÉRÉ

DANS SES RAPPORTS AVEC L'ACTION DES EXCITANTS [1].

Tous les physiologistes savent que l'oxygène est, pour ainsi dire, l'*aliment de la vie*. C'est par son intervention que le mouvement vital existe; sans lui, il n'y a ni faculté de sentir, ni faculté de se mouvoir; les excitants sont alors sans action. La question de savoir quel est l'usage physiologique de l'oxygène est donc la question la plus importante peut-être de la science des corps vivants. Les tentatives qui ont été faites pour résoudre cette question n'ont eu pour but, jusqu'à ce jour, que de déterminer comment l'oxygène, en se fixant dans le tissu organique, entretient la chaleur animale; encore doit-on convenir que cette question est loin d'être complétement résolue. Mais le phénomène de la production de la chaleur animale n'est qu'un des effets de l'introduction de l'oxygène dans l'organisme: son usage le plus important, usage dont le mécanisme est le plus ignoré, est celui d'entretenir l'excitabilité. Comment l'oxygène intervient-il dans l'action des excitants sur l'organisme vivant? Le physiologiste qui essayerait d'attaquer ce problème de front se perdrait en efforts superflus. Comment, en effet, observer un phénomène qui a son siége dans le tissu le plus intime des organes vivants et qui se dérobe ainsi à tous nos sens? Pour faire quelques pas dans une route aussi ténébreuse, il faut donc être guidé par une de ces lueurs inattendues que la nature manque rarement de faire briller aux yeux de l'observateur qui la scrute avec persévérance jusque dans ses retraites les plus cachées. C'est en observant les animalcules infusoires que cette lueur a frappé mes yeux.

On confond généralement parmi les animalcules des infusions beaucoup d'animaux microscopiques qui ne méritent point le nom d'*infusoires*. Il existe, par exemple, sur beaucoup de plantes des animalcules microscopiques qui, doués, comme le rotifère, de la faculté de ressusciter, meurent pendant la sécheresse, et reprennent la vie lorsque les feuilles des plantes sont de nouveau mouillées par la pluie. Telles sont, par exemple, toutes les mousses, parmi lesquelles je me

[1] Ce mémoire, lu à l'Académie des Sciences de l'Institut le 30 janvier, a été imprimé dans les Mémoires de cette Académie, tome XIV.

bornerai ici à citer celle qui est désignée par Linné sous le nom d'*hypnum purum* (1). Cette plante, étant récoltée par un temps pluvieux et mise dans l'eau, fait voir à l'instant même une multitude d'animalcules de diverses formes qui, véritables amphibies, vivaient sur la plante humide et continuent de vivre au milieu de l'eau, dans laquelle ils nagent avec vivacité. Ces animalcules, pourvus d'une organisation très-apercevable au microscope, ne sont point de véritables animalcules infusoires. Ils n'apparaissent que dans les infusions à froid et jamais dans les infusions qui ont bouilli. Il ne faut, au plus, que trois ou quatre jours pour leur apparition dans les infusions à froid de l'*hypnum purum* vivant, mais non mouillé, tandis qu'il faut, au moins, quinze jours d'infusion pour l'apparition des véritables animalcules infusoires, lesquels apparaissent également dans les infusions à froid et dans les infusions qui ont bouilli. Ce sont ces derniers animalcules, seuls véritables infusoires, qui sont l'objet des observations qui vont suivre. Je les désignerai, pour abréger, sous le nom d'*infusoires de la mousse*.

Le premier phénomène que présente l'eau dans laquelle on a mis macérer de l'*hypnum purum* est la formation d'une pellicule à sa surface : cette pellicule est entièrement composée de globules, et il m'a paru que ce sont ces globules qui deviennent des animalcules infusoires. Ce qu'il y a de certain, c'est que c'est exclusivement de cette pellicule que naissent les infusoires, lesquels ne se multiplient point par génération. Aussi, lorsque cette substance qui produit les infusoires est enlevée, ou lorsqu'elle a perdu par la décomposition sa faculté productrice, il ne se produit plus de nouveaux infusoires de l'espèce dont il s'agit ici, et ceux-ci, placés dans certaines circonstances, vieillissent tous ensemble et meurent sans laisser de postérité, sans s'accroître en nombre, ainsi qu'on le verra plus bas.

Lorsque ces infusoires sont nouvellement produits, ils présentent un instinct très-remarquable, c'est celui de se réunir en troupes. Ce phénomène offre un spectacle fort curieux : lorsqu'on examine au microscope une goutte d'eau chargée de ces infusoires, ils ne tardent pas à se grouper et à se rassembler en une ou en plusieurs troupes : ils présentent dans l'eau un spectacle entièrement semblable à celui qu'offre dans l'air un essaim d'abeilles fixé en grappe, autour de laquelle on voit voltiger les abeilles encore éparses : de même on voit nager autour du groupe des infusoires ceux qui n'y sont pas réunis. Ce phénomène atteste chez ces animalcules un *instinct d'association* qui prouve incontestablement leur animalité. Cet instinct d'association n'est plus aussi marqué quelques jours après qu'on a commencé à l'observer, et il finit par disparaître complétement lorsqu'il y a environ dix à douze jours que ces animalcules sont produits. Un autre instinct fort remarquable de ces infusoires est celui de fuir la lumière. Ainsi, lorsqu'on met l'eau qui les contient dans un tube de verre fixé verticalement près d'une fenêtre, ils viennent tous se poser à l'état d'immobilité sur la paroi du tube opposée à la fenêtre de laquelle vient la lumière, et ils y restent fixés pendant un certain temps. Ce second instinct disparaît comme le précédent, lorque les infusoires sont parvenus seulement à l'âge de dix jours.

Je passe actuellement à l'étude d'un autre phénomène que présentent les infusoires de la mousse : pour l'observer, je mets de l'eau chargée de ces infusoires dans un flacon de cristal allongé et aplati. Les flacons dont je me sers pour cette observation ont de deux à trois pouces de longueur et leur cavité a huit ou dix lignes dans son plus grand diamètre, et trois à quatre lignes seulement dans son plus petit diamètre, qui est le sens de l'aplatissement du flacon. Le liquide

(1) J'ai cru d'abord que la mousse qui servait à mes expériences était l'*hypnum filicinum*. Je répare ici cette erreur, qui existe dans les publications que j'ai faites précédemment de ce Mémoire.

contenu dans ces flacons aplatis est beaucoup plus facile à observer par transparence qu'il ne le serait s'il était contenu dans des tubes de verre.

Je mis dans un de ces flacons de l'eau chargée d'infusoires de la mousse ; l'eau ne s'élevait pas jusqu'au goulot, en sorte que sa surface en contact avec l'air avait toute l'étendue que pouvait permettre la capacité du flacon. Je vis, à la loupe, les infusoires épars dans le liquide se réunir sur la paroi du flacon, qui était opposée à la lumière ; ils se fixèrent sur cette paroi, et bientôt après je les vis se précipiter vers le fond de l'eau : ensuite ils remontèrent épars vers la surface, et là ils se réunirent de manière à former une sorte de nuage épais près de la surface de l'eau. Bientôt il se détacha de ce nuage une colonne nuageuse composée d'animalcules pressés, qui descendit vers le fond du flacon. Arrivée dans le bas, l'extrémité inférieure de cette colonne nuageuse dispersa ces animalcules réunis, lesquels remontèrent épars vers la surface et se réunirent de nouveau au nuage d'infusoires qui existait dans cet endroit, et duquel ces mêmes infusoires continuaient de descendre, tantôt en une seule colonne, tantôt en colonnes multiples. Ainsi, les animalcules étaient soumis à un mouvement non interrompu de descente et d'ascension alternatives; ils descendaient pressés, ils remontaient épars. Je m'empressai de rechercher quelle était la cause de ce phénomène.

On sait que l'eau, dans les tubes de verre, présente un mouvement de circulation par lequel elle transporte les corps légers qu'elle tient en suspension. J'ai publié mes observations sur ce phénomène circulatoire [1], et j'ai fait voir qu'il cesse d'avoir lieu lorsque la température est inférieure à + 10 degrés R. Or, mon observation sur les infusoires de la mousse se faisait par une température inférieure à + 10 degrés. Ce n'était donc point à cette cause que je pouvais attribuer la descente et l'ascension alternatives des infusoires ; ce mouvement d'ailleurs n'était nullement circulatoire. Lorsque j'ai observé ce même phénomène plus tard et par une température élevée, j'ai vu que le mouvement circulatoire de l'eau était réuni au mouvement de descente et d'ascension des animalcules, et toutefois ces deux phénomènes, quoique associés, étaient faciles à distinguer l'un de l'autre. Il était facile de voir que la descente des animalcules était occasionnée par l'augmentation momentanée de leur pesanteur spécifique, et je jugeai que c'était à l'oxygène qu'ils absorbaient près de la surface de l'eau, qu'ils devaient l'augmentation de poids qui occasionnait leur descente. Pour m'en assurer, je couvris la surface de l'eau d'une couche d'huile. La descente des animalcules fut à l'instant interrompue ; ceux qui étaient descendus remontèrent et tous ces animalcules se réunirent en nuage près de la surface et y demeurèrent nageant avec vivacité ; leur foule agitée se tint constamment dans cette position élevée. J'enlevai l'huile en l'aspirant avec un tube. Dès que l'eau eut le contact de l'air, les infusoires commencèrent à descendre en colonnes nuageuses pressées, et leur mouvement subséquent d'ascension les ramena ensuite vers la surface, en sorte que l'alternative de la descente et de l'ascension de ces animalcules se trouva rétablie. Je fis la même expérience avec le même résultat en bouchant le flacon avec son bouchon de cristal sans y laisser d'air. Le mouvement de descente des animalcules, suspendu par cette occlusion, se rétablit lorsque j'ôtai le bouchon. J'obtins encore les mêmes résultats en mettant le flacon dans le vide, ou même dans de l'air raréfié seulement par deux coups de piston de la pompe pneumatique. Le mouvement de descente des animalcules était interrompu, et il se rétablissait aussitôt que l'air soustrait leur était rendu. Enfin, j'ai vu s'abolir le mouvement de descente des infusoires de la mousse en mettant le flacon qui les contenait sous un petit récipient de verre fermé par du mercure et contenant un petit fragment

[1] Voyez l'appendice ci-après.

de phosphore auquel je ne mettais pas le feu. L'absorption de l'oxygène, opérée à la température de l'atmosphère, par le phosphore, était suffisante, au bout de deux ou trois heures, pour que l'air contenu sous le récipient ne contînt plus assez d'oxygène pour pouvoir en céder aux animalcules, qui cessaient alors de descendre dans l'eau. Ceux qui étaient descendus remontaient, et tous ces infusoires demeuraient, sous forme d'un nuage, près de la surface de l'eau, comme dans les expériences précédentes.

Ces expériences prouvent incontestablement que la descente des animalcules est occasionnée par l'augmentation de poids que leur donne l'oxygène qu'ils absorbent près de la surface de l'eau, qui elle-même l'emprunte à l'atmosphère. L'ascension subséquente de ces animalcules prouve qu'ils ont perdu dans le fond de l'eau l'oxygène qu'ils avaient acquis à sa surface et qui leur avait donné une pesanteur spécifique supérieure à celle du liquide dans lequel ils nagent; redevenus spécifiquement plus légers que l'eau, ils sont portés vers sa surface par un mouvement ascensionnel. Or, comment s'opère cette perte de l'oxygène acquis? c'est ce que l'observation directe n'apprend point ici. Mais on peut le déterminer par induction. Tous les êtres vivants, sans exception, absorbent de l'oxygène et versent de l'acide carbonique. C'est donc sous la forme d'acide carbonique qu'ils rejettent l'oxygène qu'ils ont absorbé. Il ne paraît donc pas douteux que ce ne soit sous cette forme d'acide carbonique que les infusoires de la mousse perdent l'oxygène qu'ils avaient acquis. Cette perte devient sensible dans le fond de l'eau par la diminution de leur poids, parce qu'étant alors plus éloignés de la source de l'oxygène, ils sont moins à même de réparer la perte de cette substance qu'ils ne le sont lorsqu'ils sont plus rapprochés de l'air atmosphérique dans lequel l'eau puise ce gaz.

Il résulte de ces observations, qu'il y a dans la vie des infusoires de la mousse un jeu continuel d'oxydation et de désoxydation. L'oxygène introduit dans leur organisme n'y reste pas, du moins en entier; il ne fait que le traverser, et il en sort entraînant avec lui du carbone devenu superflu.

Lorsque le flacon dans lequel on observe les infusoires de la mousse est en observation depuis trois à quatre jours, on voit que le nuage que forme ces animalcules, près de la surface de l'eau, s'est éloigné un peu de cette surface. Ce nuage reste suspendu *entre deux eaux*, et, de là, les animalcules descendent, comme à l'ordinaire, en colonnes nuageuses, puis se dispersent dans le fond de l'eau; ils remontent vers le nuage supérieur qui flotte dans le milieu de l'eau, et ils s'y réunissent pour descendre de nouveau. Les jours suivants, ce nuage supérieur suspendu entre deux eaux continue de s'abaisser, occupant successivement une place plus basse dans le liquide, les animalcules qui le composent présentent toujours le même phénomène de descente et d'ascension alternatives. Ce phénomène ne cesse point d'avoir lieu même lorsque le nuage supérieur, graduellement abaissé, n'est plus situé qu'à une ou deux lignes au-dessus du fond de l'eau; on voit toujours les animalcules descendre et remonter alternativement, et c'est toujours l'oxygène acquis en haut et perdu en bas qui cause cette descente et cette ascension alternatives, car j'ai expérimenté que toujours on fait cesser leur mouvement de descente en ôtant à la surface de l'eau le contact de l'air atmosphérique qui est la source où l'eau puise l'oxygène qu'elle livre à l'absorption des animalcules; ainsi ces derniers reçoivent l'oxygène atmosphérique au travers de la couche plus ou moins épaisse d'eau qui les sépare de l'air, mais sans doute avec moins de facilité et moins d'abondance que lorsque leur nuage supérieur était flottant près de la surface de l'eau.

L'abaissement graduel du nuage des animalcules fait que ces infusoires finissent par être définitivement précipités dans le fond de l'eau. Alors cesse nécessairement leur mouvement de descente et d'ascension; on sent que cette précipitation com-

plète doit arriver d'autant plus promptement, que le flacon a moins d'élévation, et, par conséquent, l'eau moins de profondeur. Ainsi précipités, les animalcules continuent de vivre pendant un temps plus ou moins long, et ils finissent par mourir de vieillesse sans laisser aucune postérité; ils sont nés à peu près ensemble, ils ont vieilli ensemble et ils meurent ensemble.

Le phénomène physiologique qui se remarque dans l'état de vieillesse des infusoires de la mousse est l'augmentation graduelle de leur pesanteur spécifique *fixe*. On a vu que ces animalcules, en absorbant de l'oxygène, acquièrent instantanément une augmentation de pesanteur spécifique qui les fait descendre au fond de l'eau, et qu'ils perdent promptement cette pesanteur acquise, en sorte que, redevenus légers, ils remontent dans le liquide. Or, par le progrès de leur âge, ils perdent graduellement la faculté de remonter vers la surface de l'eau après leur descente, en sorte qu'ils ne remontent dans ce liquide qu'à une élévation qui va toujours en diminuant. Les infusoires de la mousse acquièrent donc, par le progrès de l'âge, une matière qui augmente d'une manière *fixe* leur *pesanteur spécifique*, et cependant ils continuent toujours d'avoir en même temps une *pesanteur spécifique variable* par l'effet de l'acquisition et de la perte successives de l'oxygène. Quelle est la matière dont l'adjonction donne à ces animalcules une *pesanteur spécifique fixe* toujours croissante? Une expérience bien simple donne la solution de cette question. Je ferme le flacon qui contient des animalcules vieillis avec son bouchon de cristal, sans y laisser d'air. De cette manière, les animalcules se trouvent réduits à l'oxygène qui est dissous dans l'eau du flacon, et cette substance est bientôt consommée par eux, sans que sa perte puisse se réparer. Dès le premier jour, on voit les animalcules remonter plus haut dans l'eau, ce qui prouve qu'ils ont perdu une partie de la matière qui occasionnait leur précipitation. Le second jour, tout mouvement de descente et d'ascension alternatives a cessé; les animalcules sont épars dans l'eau et spécialement vers la partie supérieure. Dans cet état de choses, le bouchon du flacon étant ôté et l'air rendu à la surface de l'eau, on ne tarde point à voir les animalcules recommencer à descendre pour remonter ensuite. Leur nuage supérieur, qui est l'origine et l'aboutissant de ce double mouvement, n'est plus, comme auparavant, situé profondément dans l'eau, il est près de sa surface. Les animalcules ont perdu la matière qui leur donnait une *pesanteur spécifique fixe*, supérieure à celle des couches les plus élevées de l'eau, et il est évident, par cette expérience, que cette matière est l'oxygène. Ainsi, en vieillissant, les infusoires de la mousse acquièrent de l'oxygène qui se fixe dans leur organisme, et qui augmente leur *pesanteur spécifique fixe*. Cet oxygène fixé ne peut plus être éliminé par l'action chimique intérieure qui opère la désoxydation, laquelle succède sans cesse à l'oxydation, ainsi qu'on vient de le voir; mais il peut être éliminé lorsque, l'oxygène du dehors venant à diminuer considérablement, l'oxydation de l'organisme ne s'opère plus comme dans l'état naturel. Alors, l'action chimique intérieure désoxydante agit pour éliminer cet oxygène fixé, sur lequel, sans cela, elle eût été sans empire, et l'animalcule, débarrassé de son oxygène surabondant, redevient spécifiquement léger, comme il l'était dans sa jeunesse. L'accumulation de l'oxygène fixé dans l'organisme étant le seul phénomène appréciable par lequel se manifeste l'état de vieillesse des infusoires de la mousse, il est permis de considérer cette accumulation comme la cause qui différencie l'*état de jeunesse* de ces animalcules de leur *état sénile*. On verra plus bas que l'accumulation de l'oxygène dans l'organisme est la cause réelle de la diminution de l'excitabilité, diminution qui est, chez tous les animaux, le signe caractéristique de l'*état sénile*. Je puis donc, dès à présent considérer l'état sénile comme le résultat d'une oxydation persistante de l'organisme. On vient de voir que cette oxydation, qui est

persistante dans l'état naturel chez les infusoires de la mousse, cesse de l'être et disparaît lorsqu'ils sont en grande partie privés d'oxygène extérieur. Cette élimination de l'oxygène persistant doit donc être considérée comme un véritable *rajeunissement*. Dépouillé de son oxygène fixé, l'animalcule devient, par cela même, plus oxydable. Alors le jeu de l'oxydation et de la désoxydation alternatives, jeu qui paraît être le phénomène fondamental de la vie, a bien plus d'amplitude, c'est-à-dire que l'oxygène alternativement acquis et perdu est bien plus considérable. Cette *amplitude* diminue graduellement par le progrès de l'âge ou par la vieillesse.

Il résulte de ces observations que, dans le jeu de l'oxygénation et de la désoxygénation alternatives des infusoires de la mousse, la désoxygénation est toujours légèrement inférieure à l'oxygénation. Cette différence est tout à fait insensible à des distances de temps rapprochées ; mais comme ces légères différences s'ajoutent sans cesse les unes aux autres, elles deviennent sensibles par leur réunion au bout d'un certain temps : l'animalcule, vieilli par l'accumulation de l'oxygène fixé dans son organisme, et qu'il ne peut plus perdre par l'action ordinaire de ses fonctions vitales, peut rajeunir au moyen d'une privation ménagée et suffisamment prolongée d'oxygène extérieur, privation qui force l'oxygène fixé, peu solidement à ce qu'il paraît, à s'éliminer. J'ai rajeuni ainsi des infusoires de la mousse jusqu'à six fois.

Je recherche maintenant quel est l'effet des causes excitantes sur ces infusoires.

La chaleur a une influence très-marquée sur le phénomène de l'oxygénation de ces animalcules. Lorsque la température est élevée, comme elle l'est en été, la descente des animalcules est rapide. En hiver, au contraire, lorsque la température est basse, cette descente est très-lente et elle le devient d'autant plus que la température approche davantage du terme de la congélation de l'eau. Ainsi, la chaleur agit en excitant l'oxygénation des animalcules. Cet effet a lieu pour l'*oxygénation fixe* comme pour l'*oxygénation transitoire* qui suit immédiatement la désoxygénation. Il résulte de là que la vieillesse ou l'état sénile des infusoires de la mousse doit arriver, quand il fait froid, beaucoup plus tard que lorsqu'il fait chaud. C'est aussi ce que l'expérience m'a fait voir. Dans l'espace de dix jours, par une température de + 20 degrés, les infusoires de la mousse sont ordinairement *vieillis* de manière à être tout à fait précipités dans un flacon de deux pouces de hauteur ; il faut plus de vingt jours, par une température de + 8 à 10 degrés, pour amener ces animalcules au même degré d'état sénile.

L'action excitante de la lumière est très-puissante pour favoriser l'oxygénation des infusoires de la mousse. On les voit descendre en colonnes plus nombreuses et plus volumineuses lorsqu'ils sont soumis à une vive lumière, que lorsqu'ils sont éclairés par une lumière faible. Ainsi, l'action excitante de la lumière sur ces infusoires a pour effet d'exciter leur oxydation, et cela avec d'autant plus d'énergie que la lumière est plus vive, en sorte que la lumière solaire agit, à cet égard, beaucoup plus énergiquement que la lumière diffuse. Ces expériences m'ont donné lieu de faire des observations bien importantes pour la théorie générale de l'excitation et pour l'appréciation de la cause de la *fatigue* qui est le résultat de l'excitation vive ou prolongée. Ayant soumis à l'action de la lumière solaire des animalcules dont le nuage supérieur était encore situé près de la surface de l'eau, je vis bientôt ce nuage supérieur s'abaisser un peu dans l'eau, et, de cette position abaissée, la descente des animalcules avait lieu comme à l'ordinaire, et était suivie de leur ascension. Je mis le flacon dans l'obscurité ; le nuage supérieur des animalcules remonta un peu vers la surface de l'eau. Une nouvelle exposition des animalcules à la lumière solaire occasionna de nouveau l'abaissement de leur nuage supérieur, qui se releva derechef dans l'obscurité. Il me fut prouvé par ces expériences que l'excitation produite chez les infusoires de la mousse par une vive lu-

mière avait pour effet : 1° d'augmenter l'activité de l'*oxydation transitoire* à laquelle succédait immédiatement la désoxydation; 2° de déterminer une *oxydation temporairement fixe*, oxydation dont la fixité ne durait qu'autant que durait l'action de la cause excitante qui était la cause de son existence, et qui disparaissait dans l'absence de cette cause excitante, c'est-à-dire par le *repos*. Cette oxydation, dont la fixité est liée à la continuité d'action de la cause excitante, est le phénomène physiologique qui constitue ici la *fatigue*. La *cause excitante* est véritablement une cause déterminante d'oxydation. Lorsque cette cause d'oxydation est très-puissante, elle devient supérieure à la cause intérieure de désoxydation qui existe naturellement dans l'être vivant, et l'oxygène s'accumule dans l'organisme; lorsque cette cause excitante de l'oxydation vient à diminuer ou à s'absenter tout à fait, la cause intérieure de la désoxydation reprend l'empire et elle élimine l'oxygène peu solidement fixé qui constituait l'état de *fatigue*. Ainsi, la fatigue n'est point un *épuisement*, comme on le dit vulgairement, c'est véritablement une *réplétion*. On ne récupère point par le repos ce que l'on avait perdu par l'excitation, comme on le pense généralement; au contraire, on perd par le repos la substance dont l'excitation avait surchargé l'organisme. La cause chimique intérieure qui opère l'élimination de cette substance, de cet oxygène fixé, possède dans la jeunesse une activité qui diminue par le progrès de l'âge. Ainsi, j'ai expérimenté que de jeunes infusoires de la mousse soumis à l'action de la lumière solaire ne manifestent en aucune façon qu'ils éprouvent de la fatigue par l'effet de cette vive excitation, dont le seul effet est d'augmenter considérablement le jeu de leur descente et de leur ascension alternatives. Leur nuage supérieur ne s'abaisse point, il reste toujours à la surface de l'eau. Il n'en est pas ainsi lorsqu'on soumet à la même cause excitante des animalcules qui ont déjà commencé à vieillir, dont le nuage supérieur est déjà flottant entre deux eaux. La vive excitation de la lumière leur fait éprouver promptement une fatigue profonde qui se manifeste par l'abaissement considérable de leur nuage supérieur. Si on les soustrait à cette vive excitation, leur nuage supérieur remonte dans l'eau, mais non jusqu'à l'élévation qu'il possédait avant l'excitation qui a produit son abaissement. Cela prouve qu'une partie de l'oxygène fixé par l'excitant, et produisant l'état temporaire de *fatigue*, est demeuré dans l'organisme à l'état d'oxygène fixé définitivement et constituant l'*état sénile*. On voit, par ces expériences, comment les excitations qui ne fatiguent point dans la jeunesse fatiguent considérablement dans un âge plus avancé. On voit comment ces mêmes excitations, qui ne paraissent laisser après elles aucune trace de progrès d'état sénile dans la jeunesse, font marcher rapidement, vers cet état sénile, l'être vivant déjà avancé en âge. Plus il y a dans l'organisme d'oxygène fixé définitivement et constituant l'état sénile, plus il y a de disposition à s'augmenter. Chaque excitation, chaque fatigue laisse après elle un petit accroissement d'oxygène sénile.

Ces observations prouvent que, chez les animalcules, la fatigue produite par une vive excitation consiste, comme l'état sénile, dans une accumulation d'oxygène fixé sur les organes; mais il y a cette différence entre l'*état sénile* et la *fatigue*, que l'oxygène, dont la fixation constitue cette dernière, est fixé peu solidement et ne manque pas d'être éliminé, au moins en grande partie, lorsque la cause excitante qui a déterminé sa fixation devient absente ou diminue d'énergie; tandis que l'oxygène fixé qui produit l'état sénile résiste à la cause intérieure qui opère ordinairement l'élimination de l'oxygène ajouté à l'organisme par les excitants. Cet oxygène fixé qui constitue l'état sénile ne peut être éliminé par la cause intérieure dont je viens de parler que lorsque l'organisme est privé, dans certaines proportions, de l'afflux de l'oxygène du dehors, comme l'expérience l'a fait voir plus haut. L'action excitante par laquelle la lumière

détermine l'oxydation des infusoires de la mousse est de beaucoup plus énergique quand la température est élevée que lorsqu'elle est basse. Par le froid, ces infusoires marquent à peine qu'ils éprouvent de l'influence de la part de la lumière solaire elle-même : l'oxydation qui les fait descendre dans l'eau est alors à peine accélérée, tandis que, lorsqu'il fait chaud, la lumière, et spécialement la lumière solaire, augmente énergiquement leur oxydation, qui se manifeste par les phénomènes de pesanteur indiqués plus haut. Le froid diminue donc la faculté que les infusoires de la mousse ont d'éprouver l'action par laquelle la lumière les excite à s'oxyder : cette faculté, cette *excitabilité* est augmentée par la chaleur.

Les observations qui viennent d'être exposées montrent à découvert le mécanisme de l'action de deux causes excitantes, la chaleur et la lumière, qui agissent sur l'organisme animal comme causes excitantes d'oxygénation. Une troisième cause excitante que je vais étudier agit de la même manière. Cette cause excitante est la pression qui résulte de la secousse imprimée à l'eau qui contient les infusoires de la mousse. Un flacon contenant ces animalcules étant soumis à une lumière faible, leur descente dans l'eau et leur ascension subséquente s'établissent avec une vitesse modérée et proportionnée à l'activité de leur oxygénation. Si l'on frappe de petits coups avec un marteau sur la table qui supporte le flacon, on voit bientôt augmenter le nombre et le volume des colonnes descendantes d'animalcules. Ainsi, la commotion mécanique, qui n'est dans le fait qu'une modification de pression, est une cause excitante d'oxygénation pour les infusoires de la mousse. Toutes les observations s'accordent donc pour prouver que les excitants agissent sur l'organisme vivant en le déterminant à s'adjoindre l'oxygène qui est à sa portée.

Les résultats qui viennent d'être exposés touchant l'action des excitants sur l'organisme ne sont déduits que de l'action de trois causes excitantes que l'on peut appeler *physiques*, la chaleur, la lumière et la pression ; mais les causes excitantes que l'on peut appeler *chimiques*, celles qui consistent dans l'application à l'organisme de substances en solution, agissent-elles de la même manière ? Déterminent-elles aussi la fixation de l'oxygène sur la matière organique? Ici l'observation n'apprend encore rien. Toutefois, comme il est certain que l'intervention de l'oxygène est aussi nécessaire pour l'action de ces causes excitantes *chimiques* qu'elle l'est pour l'action des causes excitantes *physiques*, il demeure presque démontré que le mécanisme de l'action de toutes les causes excitantes sur l'organisme est le même ; que toutes agissent en modifiant l'oxydation de la matière organique soumise à leur influence. Ceci explique en partie l'usage de l'oxygène dans l'organisme vivant. C'est sur cette substance et sur la matière organique simultanément que les causes excitantes agissent pour les déterminer à s'associer. Les *causes excitantes* ne sont ainsi pour l'organisme que des *causes déterminantes d'oxygénation*. L'*excitabilité* est ainsi une véritable *combustibilité*, laquelle a besoin, pour être mise en jeu, de l'intervention d'une *cause déterminante* ou *excitante*. Cette *excitabilité*, cette *combustibilité organique* est très-grande dans la jeunesse, parce qu'alors l'organisme est éminemment oxydable, il ne possède presque point d'oxygène fixé définitivement. Alors il y a une grande facilité d'oxydation, et les causes excitantes qui agissent en déterminant cette oxydation exercent leur influence avec une extrême facilité. Par le progrès de l'âge et par l'effet du nombre des excitations, il se fixe définitivement de l'oxygène dans l'organisme, lequel se trouve ainsi en partie *brûlé* ou *oxydé* d'une manière définitive. Ce phénomène a nécessairement pour effet de diminuer la combustibilité qui est mise en jeu par les excitants, c'est-à-dire l'*excitabilité*. Alors les excitants ont peu d'empire sur l'organisme, parce que, tendant à lui adjoindre de l'oxygène, ils le trouvent déjà en partie saturé définitivement de cette substance. On voit ainsi la confirmation de ce qui a été établi plus

haut, savoir que l'accumulation de l'oxygène définitivement fixé chez les infusoires de la mousse constitue véritablement leur *état sénile*, puisque cette accumulation produit progressivement la diminution de l'*excitabilité*, diminution qui est généralement le signe caractéristique de l'état de vieillesse. Ainsi, c'est avec pleine raison que j'ai dit que les infusoires de la mousse étaient *rajeunis*, lorsque je leur ai fait perdre l'oxygène fixé qui avait été accumulé chez eux par le progrès de l'âge et par le nombre des excitations. Chez ces infusoires l'état sénile est réduit à sa plus simple expression, il paraît n'être point compliqué de ces nombreuses altérations organiques que produit la vieillesse chez les animaux d'un ordre plus élevé. Ils ont seulement diminué considérablement de *combustibilité* par le fait de l'accumulation chez eux du principe comburant, et ce principe peut être artificiellement éliminé, en sorte que le phénomène de la vie est ramené à ses conditions initiales : il y a *rajeunissement*, retour de la combustibilité ou de l'excitabilité qui existait dans la jeunesse. La saturation d'*oxygène sénile* anéantit nécessairement la combustion organique vitale, c'est-à-dire *la vie*.

Il résulte des observations précédentes qu'il existe, chez les êtres vivants, une alternative continuelle d'oxydation et de désoxydation. L'oxydation présente trois modifications différentes : 1° *oxydation transitoire*, sans cesse détruite par la cause de désoxydation qui existe dans l'organisme vivant, et sans cesse renouvelée, 2° l'*oxydation temporairement fixe*; c'est elle qui constitue la *fatigue*; elle est détruite pendant le repos, c'est-à-dire pendant l'absence des causes *excitantes* ou *oxydantes* par la cause de désoxydation qui existe dans l'organisme vivant; 3° l'*oxydation fixe*; c'est elle qui constitue l'*état sénile*.

Les observations précédentes montrent combien est utile l'observation des êtres vivants les plus simples. Chez eux, on peut voir à découvert des phénomènes que les animaux d'un ordre plus élevé ne nous montreraient jamais. Cette étude sert, en outre, à agrandir le cercle des idées physiologiques; elle apprend à ne point considérer comme merveilleux certains phénomènes que ne présentent point les animaux des classes plus élevées. Les êtres dont l'organisation est simple ont, par cela même, certains priviléges que ne possèdent point les êtres dont l'organisation est complexe. Celui qui ne connaîtrait que la physiologie de l'homme, considérerait comme des merveilles fabuleuses la reproduction que les salamandres, que les écrevisses font de leurs pattes, lorsqu'on les leur coupe : il refuserait de croire que le colimaçon reproduit sa tête amputée; que certains vers aquatiques étant coupés transversalement en deux, la moitié antérieure reproduit une queue, et que la moitié postérieure reproduit une tête qui est pourvue de ses yeux et de ses autres organes; que les polypes coupés par morceaux deviennent autant de polypes qu'il y a de fragments. A côté de ces phénomènes, qui seraient d'étranges merveilles pour des animaux d'un ordre élevé, et qui sont ici dans l'ordre de la nature, peut se placer le phénomène du rajeunissement des animalcules de la mousse, phénomène que l'on peut mettre en parallèle avec celui de la résurrection de certains animalcules, et notamment du rotifère de Spallanzani, résurrection dont on a douté à tort, car j'ai expérimenté plusieurs fois que ce phénomène est des plus incontestables. Cette résurrection, au reste, n'est pas plus merveilleuse que ne l'est celle des embryons séminaux qui, après avoir vécu et s'être développés dans la graine lorsqu'elle tenait à l'ovaire, se dessèchent dans la graine mûre, et restent ainsi quelquefois pendant plus d'un siècle, dans un véritable *état de mort sans désorganisation*, et avec possibilité de retour à la vie lorsqu'on leur rend l'eau et la température nécessaires pour la germination. La résurrection des embryons séminaux, celle des rotifères, le rajeunissement des infusoires de la mousse, cesseront de paraître des phénomènes merveilleux lorsqu'on sera familiarisé avec cette idée, que le mouvement vital n'est qu'un phénomène

physique qui, comme beaucoup d'autres, peut, dans certains cas, être ramené à ses conditions initiales lorsqu'il est voisin de sa terminaison, et qui, lorsqu'il a été interrompu par l'absence de ses conditions d'existence, peut aussi, dans certains cas, être remis en jeu par le retour de ces mêmes conditions.

Les observations contenues dans ce Mémoire ont été faites et répétées pendant trois années dans le département d'Indre-et-Loire. Ayant depuis habité le département de l'Aisne, j'ai voulu revoir encore ces observations, mais je n'ai pu y parvenir. L'*hypnum purum* recueilli dans le département de l'Aisne ne m'a point offert dans son infusion les animalcules que ce même *hypnum purum* recueilli dans le département d'Indre-et-Loire avait offert à mon observation. C'est en vain que j'ai multiplié mes tentatives à cet égard. Alors j'ai pris le parti de faire venir du département l'Indre-et-Loire de l'*hypnum purum* recueilli dans la localité même qui m'avait fourni celui qui avait servi à mes observations, et son infusion m'a fourni les animalcules dont il est question dans ce Mémoire. J'ignore à quoi tient cette différence entre les résultats des expériences faites avec la même plante recueillie dans les deux pays que je viens d'indiquer. J'ajouterai ici une observation que j'ai oublié de mettre dans le Mémoire : c'est que, pour éviter autant que possible d'introduire des animalcules étrangers dans mes infusions d'*hypnum purum*, je ne me suis servi que d'eau de pluie recueillie avec toutes les précautions convenables. Ainsi on ne peut point attribuer l'apparition ou la non-apparition des animalcules dont il est ici question à la différence des qualités de l'eau dont je me serais servi pour mes infusions.

XXVII.

DE LA STRUCTURE INTIME

DES ORGANES DES ANIMAUX,

ET

DU MÉCANISME DE LEURS ACTIONS VITALES.

Les recherches sur la structure intime des organes des animaux sont aussi anciennes que l'est l'usage du microscope pour l'étude de la nature. On connaît les travaux de Leuwenhoeck sur cette partie de la science qui a été cultivée, après lui, par plusieurs observateurs et, entre autres, par Prochaska, par Fontana, par Éverard Home, par Bauer, par les frères Wensel, par MM. Prévost et Dumas et par M. Milne Edwards. L'observation microscopique de la structure intime des organes des animaux offre des difficultés bien plus grandes que celles que l'on rencontre dans l'étude de la structure du tissu des végétaux. Chez ces derniers il est possible, au moyen de la cuisson dans l'eau et encore mieux dans l'acide nitrique, de séparer les uns des autres et d'isoler les organes élémentaires qui les composent : cet isolement est impossible chez les animaux. Tous les réactifs chimiques altèrent ou détruisent, sans les séparer, les petits organes élémentaires dont les parties des animaux sont composées; en outre, ces petits organes élémentaires sont généralement, chez les animaux, d'une petitesse bien plus considérable que ne l'est celle des organes élémentaires des végétaux, en sorte qu'il arrive souvent qu'ils se dérobent à l'œil armé des meilleurs microscopes. Toutefois il n'est point impossible de déterminer d'une manière certaine la structure intime des divers organes; car, lorsque cette structure intime ne peut être aperçue distinctement chez une espèce animale, on la voit plus facilement chez une autre. Comme il n'est pas douteux que la nature n'ait un plan uniforme dans la structure intime des mêmes organes chez tous les animaux, on peut conclure de ce que l'on aperçoit chez l'un à ce que l'on ne voit pas chez l'autre. L'anatomie microscopique comparée offre des résultats aussi certains que le sont ceux que l'on déduit de l'anatomie comparée faite avec le scalpel.

Un fait général semble résulter des observations microscopiques faites sur les organes des animaux; ce fait est que tous ces organes seraient composés de très-petits globules, tantôt paraissant agglomérés confusément, tantôt réunis en séries rectilignes. Ces globules ont généralement $\frac{1}{300}$ de millimètre de diamètre selon M. Milne Edwards; mais cette asser-

tion ne doit pas être généralisée, car l'observation prouve qu'il y a de ces globules dont la grosseur est très-différente. Quelques-uns ont une dimension de beaucoup supérieure à celle qui vient d'être indiquée; d'autres sont beaucoup plus petits et se dérobent presque aux plus puissants microscopes; enfin il est des cas où ils se dérobent tout à fait à la vue, quoique leur existence, fondée sur l'analogie, ne puisse être mise en doute.

Les globules qui composent par leur agglomération la plupart des organes des animaux sont bien certainement de petites vésicules membraneuses. Cela ne se voit point, il est vrai, chez les animaux vertébrés non plus que chez les animaux articulés non vertébrés, mais cela se voit de la manière la plus évidente dans plusieurs organes des mollusques gastéropodes. Pour se convaincre de la vérité de ce fait, il faut soumettre au microscope un fragment de cet organe qui, semblable à un filet blanc, enveloppe l'estomac de tous les *helix* et qui est la glande salivaire de ces mollusques. Cet organe est entièrement composé par une agglomération de corps globuleux irrégulièrement déformés par leur compression mutuelle, et demi-transparents. Ce ne sont plus des *globules,* à proprement parler, comme on en voit dans les organes sécréteurs des animaux vertébrés, ce sont de véritables utricules ou cellules globuleuses tout à fait analogues aux cellules végétales. Une lentille d'une ligne de foyer les fait paraître grosses comme des pois; on distingue sur leurs parois une grande quantité d'utricules plus petites qui ne sont encore que des *globules*. Un fragment fort petit de cet organe salivaire étant mis dans un peu d'eau contenue dans un cristal de montre et soumis au microscope, j'ajoute à l'eau une goutte de solution aqueuse de potasse caustique. Bientôt l'alcali dissout les parois extrêmement minces des utricules globuleuses, et on les voit crever subitement et disparaître comme des bulles de savon. Il n'est donc point douteux que les organes des animaux ne soient formés par des utricules agglomérées et que ces utricules n'aient sur leurs parois des utricules plus petites, comme cela a lieu pour les cellules ou utricules des végétaux. Ces observations ne laissent aucun doute sur la nature utriculaire des globules qui composent par leur assemblage le tissu de la plupart des organes des animaux. On voit par là que la nature possède un plan uniforme pour la structure intime des êtres organisés animaux et végétaux. Chez tous ces êtres la structure intime offre une agglomération d'utricules tantôt globuleuses, tantôt allongées et réduites souvent à de simples globules d'une extrême petitesse. Les utricules globuleuses élémentaires se ressemblent généralement toutes chez les animaux. Aussi, en observant au microscope, par exemple, chez une grenouille, le tissu du cerveau, du foie, des reins, de la rate, etc., n'aperçoit-on véritablement aucune différence. Les utricules élémentaires ne diffèrent donc que par la nature des liquides qu'elles contiennent; cependant cette différence des liquides en atteste une dans la nature intime de la membrane qui forme l'utricule élémentaire dans les différents organes, car c'est cette membrane qui sécrète le liquide contenu dans l'intérieur de la cavité qu'elle forme. Or la différence de l'action sécrétoire prouve la différence de la nature du *filtre sécréteur*.

D'après cette manière de voir, tous les organes sans exception seraient des *organes sécréteurs ;* mais le liquide sécrété et contenu dans les utricules élémentaires serait destiné, tantôt à être versé, par transsudation, dans des canaux excréteurs, tantôt à être versé, également par transsudation, dans les vaisseaux sanguins après avoir demeuré plus ou moins longtemps dans ces utricules, où il joue un rôle particulier pour l'exercice des phénomènes vitaux. Ces considérations font voir que ce n'est point avec un esprit assez philosophique que l'on a établi la distinction des solides et des liquides chez les animaux. On considère comme *solides organiques* les agrégats de globules qui ont une certaine solidité; les *liquides organiques* comme le sang sont également

composés de globules, mais ils sont dissociés. Or, on rencontre chez les animaux certaines parties dans lesquelles les globules composants sont si faiblement associés qu'on ignore si l'on doit les prendre pour des solides ou pour des liquides; telle est la pulpe nerveuse surtout chez certains animaux; aussi Bichat considérait-il la pulpe nerveuse comme une substance en quelque sorte intermédiaire aux liquides et aux solides. Ainsi il n'existe point de limite tranchée entre les agrégats de globules associés ou les *solides organiques*, et les réunions de globules dissociés ou les *liquides organiques*. La distinction la plus philosophique que l'on puisse établir entre les parties constituantes des êtres organisés, est donc celle des *parties contenantes* et des *parties contenues*. Les *parties contenantes élémentaires* sont les membranes qui constituent les utricules élémentaires; les *parties contenues élémentaires* sont les substances contenues dans l'intérieur de ces utricules. Chez les végétaux, par exemple, il n'est pas douteux que le véritable *solide organique élémentaire* ne soit la membrane de l'utricule ou de la cellule; lorsque cette cellule, en vieillissant, se remplit d'une substance concrète et solide, ce n'est point cette substance qui constitue réellement le *solide organique élémentaire*, elle est même, le plus souvent, tout à fait étrangère à la vie. On en peut dire autant des animaux; c'est la membrane de l'utricule globuleuse qui est chez eux la partie contenante élémentaire ou le véritable *solide organique;* les substances que contiennent ces utricules globuleuses peuvent être liquides ou solides; ce sont les *parties contenues* élémentaires. La vie n'existe, du moins avec un certain degré d'activité, que là où les *substances contenues* élémentaires sont liquides; dans les os la substance que contiennent les utricules globuleuses est une matière solide, c'est le phosphate de chaux; aussi dans les os le mouvement de la vie a-t-il très-peu d'activité. La diversité des substances contenues dans les utricules élémentaires est très-grande dans les deux règnes animal et végétal, et cela prouve que l'utricule ou cellule élémentaire, possède elle-même une très-grande diversité de nature. La diversité à cet égard paraît plus grande chez les végétaux que chez les animaux; en effet, quelle variété étonnante dans les qualités chimiques, dans le goût, dans les propriétés médicales ou alimentaires des tiges, des racines, des feuilles, des fleurs ou des fruits des divers végétaux! Les animaux sont loin de présenter une aussi grande diversité dans les produits de leur organisation.

Les organes qui, chez les animaux, ont été le plus spécialement l'objet des recherches microscopiques sont les organes nerveux et musculaires. Je vais passer en revue les découvertes qui ont été faites dans ces deux points importants de la science de l'organisation.

Leuwenhoeck le premier a vu que le cerveau est composé de globules agglomérés; Prochaska et Fontana ont confirmé cette observation; MM. Joseph et Charles Wenzel [1] avancèrent les premiers que ces globules sont vésiculaires et contiennent un liquide concrescible par l'action de la chaleur et par celle des acides. Cette opinion a été reproduite et adoptée par Everard Home et Bauer [2]. Ces utricules qui composent la masse cérébrale sont adhérentes les unes aux autres sans aucun *medium* apparent, ainsi que l'ont dit MM. Wenzel. Les observations de M. Milne Edwards sur la structure du cerveau [3] n'ont rien ajouté à ce qui était connu à cet égard. Cependant il est une particularité qui me semble avoir échappé à tous les observateurs, et cela non par leur faute, mais par l'imperfection de leurs microscopes. Ces instruments, en effet, ne

[1] De penitiore structurâ cerebri hominis et brutorum.

[2] Philosophical transactions, 1818.

[3] Mémoire sur la structure élémentaire des principaux tissus organiques.

sont achromatiques que depuis un petit nombre d'années. Cette particularité est l'existence d'une multitude de *ponctuations* sur les parois des utricules cérébrales. La figure 3 (pl. 30), représente un petit fragment du cerveau de la grenouille ; il est traversé par un petit vaisseau sanguin. On voit sur les parois de toutes les utricules composantes une foule de ponctuations opaques d'une excessive petitesse. On croirait voir un tissu cellulaire végétal avec les nombreuses *ponctuations* de ces cellules. J'avais noté autrefois cette particularité dans le cerveau de l'*helix pomatia*. Quels sont les usages de ces *ponctuations* dont l'existence paraît si générale? C'est ce que l'on ne peut déterminer dans l'état actuel de nos connaissances.

L'étude de la structure intime des nerfs a été faite avec beaucoup de soin par MM. Prévost et Dumas [1]. M. Milne Edwards a répété leurs observations et les a appuyées de son témoignage. Ce sont spécialement les nerfs de la grenouille qui ont été étudiés par ces observateurs. Chez ce reptile, les nerfs sont composés de fibres longitudinales qui se séparent avec facilité les unes des autres en divisant avec la pointe d'une aiguille le nerf plongé dans l'eau. Ces fibres avaient déjà été vues par Fontana qui les considérait comme étant cylindriques ; MM. Prévost et Dumas prétendent qu'elles sont aplaties et semblables à des rubans. J'avoue que je n'ai point vu cette forme aplatie des fibres nerveuses et qu'elles m'ont paru cylindriques, ainsi que l'avait vu Fontana. Selon MM. Prévost et Dumas, et selon M. Milne Edwards ces fibres nerveuses sont composées, chez la grenouille, par la réunion de quatre *fibres élémentaires*, lesquelles sont elles-mêmes composées de globules placés à la file. Je n'ai jamais pu voir cette organisation. Ces fibres sont diaphanes, et lorsqu'on les observe au microscope par transparence en les éclairant par dessous, on les voit bordées de chaque côté par une rangée de globules, ainsi que cela est représenté par la figure 4 (pl. 30) ; le milieu de la fibre offre une transparence uniforme. Cependant en l'examinant avec un fort grossissement, j'avais aperçu quelques globules dans ce milieu transparent. Pensant que mes microscopes n'étaient pas assez bons pour apercevoir ces quatre *fibres élémentaires* dont la fibre nerveuse devait être composée, je m'adressai à M. Dumas, possesseur du microscope d'Adams, avec lequel il avait fait ses observations conjointement avec M. Prévost ; microscope avec lequel M. Milne Edwards avait également fait les siennes. M. Dumas eut la complaisance de me préparer lui-même cette observation; mais, malgré tous les soins qu'il prit, je ne pus apercevoir ces quatre fibres élémentaires ; je ne vis rien autre chose que ce qui est représenté par la figure 4, c'est-à-dire une fibre transparente bordée de chaque côté par une rangée de globules. Je continuai donc à penser que ces quatre fibres élémentaires dont la fibre nerveuse était supposée composée n'existent point, et que cette fibre nerveuse est un cylindre dont la surface est couverte de globules, lesquels ne sont apercevables que sur les bords, à raison de leur saillie, ceux du milieu se dérobant à la vue par leur transparence. Cette question ne pouvait être résolue qu'à l'aide d'un bon microscope propre à observer les objets à l'aide de la lumière qu'ils réfléchissent ; le microscope de M. Amici est éminemment propre à ce genre d'observations; il est aujourd'hui fort répandu, mais il n'existait point encore en France, en 1827. J'eus occasion à cette époque d'en faire usage à Genève avec M. Prévost : nous examinâmes ensemble avec ce microscope et à l'aide de la lumière réfléchie, la structure de la fibre nerveuse de la grenouille. Nous vîmes de la manière la plus distincte que cette fibre nerveuse est véritablement un cylindre dont les parois sont formées de globules agglomérés. M. Prévost convint avec moi, d'après cette observation décisive, que la fibre nerveuse n'est point composée, comme il l'avait pensé, de quatre fibres élémentaires composées elles-mêmes de globules placés à la file. Cette

[1] Mémoire sur les phénomènes qui accompagnent la contraction musculaire.

fibre nerveuse est, je le répète, un cylindre dont les parois sont formées par des globules juxtaposés confusément, comme on le voit dans la figure 5 (pl. 30). On ignore si ce cylindre est plein, ou s'il est tubuleux.

Les premières observations sur la structure intime de la fibre musculaire, sont dues à Leuwenhoeck [1]; il étudia cette structure chez divers quadrupèdes, chez les poissons et chez quelques crustacés; il vit que la fibre musculaire est composée par la réunion en faisceau d'une grande quantité de fibrilles, dont l'assemblage est revêtu par une membrane enveloppante couverte de plis transversaux. Il crut d'abord apercevoir que cette fibre musculaire était formée par une réunion de globules; mais il abandonna ensuite cette opinion, qu'il regarda comme n'étant fondée que sur une illusion d'optique. Peu de temps après, Hook, observant les fibres musculaires des écrevisses et des crabes, crut voir qu'elles étaient composées de globules placés à la file; il les comparait à *des fils chargés de perles* [2]. Il communiqua cette observation à Leuwenhoeck qui, ayant observé ce fait de nouveau, demeura dans son opinion que l'apparence de *globules* que présentait dans cette circonstance l'observation microscopique, était une illusion d'optique produite par la chute variée de la lumière sur les plis transversaux des fibres, plis qui offraient alors l'apparence de globules [3]. Cette question importante ne fut plus soulevée pendant près d'un siècle et demi, qui s'écoula entre les observations de Leuwenhoeck et de Hook, et celles de M. Bauer qui sont rapportées par Everard Home [4]. Ces observations faites sur les fibres musculaires de l'estomac humain, sur celles du mouton, du lapin et du saumon, tendent à confirmer l'opinion de Hook; savoir: que les fibres musculaires sont composées de globules disposés en séries rectilignes et de la grosseur des globules sanguins. Les recherches microscopiques de MM. Prévost et Dumas [5] sur les fibres musculaires des mammifères, des oiseaux et des poissons, ont semblé établir définitivement comme une vérité incontestable cette opinion, qui a reçu un nouvel appui par les observations de M. Milne Edwards. Il paraissait donc ne plus exister de doutes sur la structure intime de la fibre musculaire, lorsque les observations de M. Turpin sont venues remettre en crédit l'opinion de Leuwenhoeck. Les nombreux perfectionnements que le microscope a reçus dans ces derniers temps, donnent aux observations microscopiques plus de certitude qu'elles n'en avaient auparavant. M. Turpin a vu, comme l'avait vu Leuwenhoeck, que la fibre musculaire, observée spécialement chez la grenouille, consiste dans une membrane tubuleuse, couverte de plis transversaux extrêmement fins et contenant dans son intérieur des *fibrilles* très-déliées (fig. 6, pl. 30). On ne voit point de globules dans le tissu de cette membrane tubuleuse, mais avec un microscope médiocre on est porté à prendre ces plis transversaux irrégulièrement interrompus pour des globules. J'ai revu ces observations et j'ai expérimenté que, lorsque cette fibre est abandonnée dans l'eau pendant deux heures environ, tous ses plis transversaux cessent d'exister, et que la fibre apparaît alors comme elle est représentée dans la figure 7; on voit par transparence les nombreuses fibrilles qu'elle contient dans son intérieur, et, ce qu'il y a de remarquable, ces fibrilles offrent à leur surface des *ponctuations* opaques tout à fait semblables à celles qui existent sur les utricules cérébrales. Si l'on ne voyait pas souvent ces fibrilles dépourvues de ces *ponctuations* lorsqu'elles sortent accidentellement de la fibre à son

[1] Transactions philosophiques, 1674.
[2] Collection philosophique de Hook de 1679 à 1682.
[3] Lettre à Hook, insérée dans la Collection philosophique de ce dernier.
[4] Philosophical transactions, 1818.
[5] Examen du sang, etc.

extrémité divisée, on serait tenté d'admettre que ces fibrilles sont composées de globules extrêmement petits ; mais il est très-certain que ces globules ponctiformes sont simplement appliqués sur la surface des fibrilles. Ces dernières ressemblent tout à fait à cet égard aux fibres végétales du tissu fibreux incurvable par oxygénation [1]; ces fibres végétales sont couvertes de même de globules dont on ignore tout à fait l'usage. Ainsi, la fibre musculaire n'est point composée de globules, comme tant d'observateurs l'ont affirmé, mais elle en contient qui sont mêlés aux fibrilles. Si l'on veut voir les fibrilles musculaires avec encore plus de facilité, il faut s'adresser au muscle qui sert à l'huître à fermer les deux valves de sa coquille. En divisant ce muscle en petits fragments, on obtient un grand nombre de fibrilles parfaitement isolées. Elles sont diaphanes et n'offrent pas la moindre apparence de globules ; elles ressemblent à des aiguilles. La fibrille musculaire paraît donc être une utricule extrêmement allongée, comme le sont les fibres du tissu fibreux végétal. Ainsi, il se trouve établi que, conformément aux observations de Leuwenhoeck, la fibre musculaire est un organe tubuleux à parois membraneuses, lesquelles, dans l'état naturel, offrent des plis transversaux très-multipliés.

Dans les observations que j'ai publiées en 1824 sur la structure des organes musculaires, j'ai annoncé que le cœur des animaux n'est pas composé exclusivement de fibres musculaires, mais qu'on y rencontre aussi une grande quantité d'utricules globuleuses. Cette structure est facile à voir dans le cœur de l'*helix pomatia*, dans le cœur de l'écrevisse, (*astacus fluviatilis*, Fab.), on l'aperçoit aussi dans le cœur de la grenouille. Ce serait une chose fort importante que de déterminer l'usage physiologique de ces utricules globuleuses dans le cœur des animaux ; à cet égard je ne puis émettre qu'un soupçon, mais il me paraît fondé. J'ai fait voir qu'il existe chez les végétaux deux *tissus moteurs*, savoir : le tissu cellulaire ou utriculaire incurvable par turgescence de liquide, et le tissu fibreux incurvable par oxygénation. Ces deux tissus sont ordinairement antagonistes sous le point de vue de leur action ; or, chez certains organes des animaux, ces deux tissus moteurs antagonistes se rencontrent également. La vessie, par exemple, possède un tissu fibreux musculaire qui, lorsqu'il agit, tend à diminuer la capacité de cet organe ; cela est bien connu, mais ce qui ne l'est pas, à ce que je crois, c'est que ce même organe possède un tissu utriculaire incurvable par turgescence de liquide ou par endosmose, et qui tend à augmenter sa capacité, se trouvant ainsi antagoniste du tissu fibreux musculaire. Si l'on prend un morceau de vessie de porc fraîche ou même desséchée et qu'on le plonge dans l'eau il se roule en spirale *en dedans*, c'est-à-dire que la *membrane* muqueuse vésicale occupe alors la concavité de la courbure ; or, ce mode de courbure existant dans tout le pourtour de la vessie, il en résulte que cet organe tend à s'élargir ; il tendrait à comprimer le fluide qu'il contient si sa tendance à la courbure était inverse, c'est-à-dire si la membrane muqueuse occupait la convexité de la courbure [2]. Le tissu utriculaire incurvable par turgescence de liquide est, dans la vessie du porc, composé d'utricules d'une extrême petitesse. Ces utricules desséchées reprennent par l'immersion dans l'eau leur liquide dense intérieur, parce que la substance organique qu'elles contiennent est soluble, et dès lors elles produisent l'endosmose qui leur donne une turgescence par suite de laquelle s'effectue la courbure en dedans de ce tissu utriculaire. Ce dernier fait prouve que les utricules qui composent ce tissu décroissent de grandeur du dehors vers le dedans. Voilà donc un organe creux destiné alternativement à admettre un liquide et

[1] Voyez pages 254, 255.
[2] Voyez à ce sujet ce que j'ai exposé par rapport aux effets de la courbure des parois du fruit du *momordica elaterium*, page 219.

à l'expulser, qui possède deux tissus moteurs antagonistes, savoir : le tissu fibreux musculaire pour opérer l'expulsion et le tissu utriculaire incurvable par turgescence de liquide pour favoriser l'admission. Or, il me paraît extrêmement probable qu'il en est de même par rapport au cœur qui se resserre et se dilate alternativement pour expulser et pour admettre le sang; l'observation prouvant, en effet, que le tissu utriculaire existe concomitamment avec le tissu fibreux musculaire dans le cœur des animaux, cela doit porter à penser que ces deux tissus moteurs y sont antagonistes comme cela a lieu pour la vessie. C'est bien certainement le tissu fibreux musculaire qui est l'agent de l'expulsion du sang, ou de la systole; par conséquent le tissu utriculaire serait l'agent de la dilatation subséquente du cœur ou de la diastole, lorsque arrive le relâchement musculaire; le tissu utriculaire puiserait dans son état de turgescence une force d'élasticité qui, vaincue lors de la contraction musculaire, reprendrait l'empire lors de la cessation momentanée de cette contraction; on sait depuis longtemps que le cœur se dilate par une action propre dans la diastole, mais personne n'a tenté d'établir le mécanisme de cette dilatation active. Au reste, je ne présente tout ceci que comme un simple aperçu; cet important problème physiologique demande de nouvelles études.

J'aborde actuellement l'étude du mécanisme au moyen duquel les muscles se raccourcissent ou se *contractent*.

On donne généralement le nom de *contraction*, en physiologie, à l'action par laquelle certains solides organiques se raccourcissent dans le sens de leur longueur soit après une distension mécanique, soit sans cette distension préalable. Ainsi, pendant la vie et par l'influence de l'action nerveuse, les fibres musculaires se raccourcissent dans le sens de leur longueur. Ces mêmes fibres, après la mort, étant tiraillées et distendues, retournent spontanément à leur longueur première. Le même phénomène s'observe en faisant subir une distension légère à la plupart des solides organiques dont le tissu est lâche. L'observation de ces phénomènes conduit à distinguer la *contraction vitale* de la *contraction de tissu*, et effectivement ces deux phénomènes ne sont point semblables dans leur mécanisme, comme on va le voir tout à l'heure.

Bichat, entraîné par l'idée d'établir une différence tranchée entre les propriétés des corps organisés et celles des corps inorganiques, a affirmé que l'*extensibilité* et la *contractilité de tissu* sont des propriétés étrangères aux corps inertes et inhérentes aux seuls organes des corps vivants [1]. Ceci est une erreur, car les solides minéraux sont extensibles, et ils se raccourcissent spontanément après l'extension, c'est-à-dire qu'ils se *contractent*. Ce fait a été prouvé par les expériences de Tredgold [2]. Si l'on suspend un poids à une verge métallique, cette verge s'allongera; le poids étant retiré, la verge reviendra à son premier état, *elle se contractera;* mais ce retour à l'état primitif n'est possible qu'autant que l'extension n'a pas dépassé une certaine limite, car, si cette extension est poussée trop loin, la verge métallique ne se contractera plus, ou se contractera imparfaitement. Tredgold a trouvé, par l'expérience, quelles sont, chez divers minéraux, les limites que ne doit point dépasser l'extension pour être suivie d'une entière et parfaite contraction. Cette extensibilité est exprimée en millionièmes de la longueur du solide dans la table suivante :

Marbre blanc	328
Fer forgé	713
Fonte de fer.	830
Plomb	2088
Acier	4485

On voit, par cette table, que l'extensibilité et, si je puis m'exprimer ainsi, la *contractilité de tissu* appartiennent même aux substances qui, comme le marbre, semblaient devoir être totalement dépourvues de ces propriétés; ainsi les substances

[1] Anatomie générale; considérations générales, § 5.
[2] Annales des mines, 1826, 4e livr., p. 239.

organiques et les substances minérales possèdent ici des propriétés exactement semblables dans leur nature, mais différentes seulement dans leur degré; certaines substances organiques possèdent à un très-haut degré l'extensibilité et la contractilité qui existent de même, mais à un très-faible degré, chez les minéraux. L'*extensibilité* et la *contractilité de tissu* des solides organiques ne sont donc point des propriétés appartenant exclusivement aux tissus des êtres organisés, ce sont des propriétés générales de la matière solide.

L'allongement d'un solide, qui n'acquiert point de matière, ne peut avoir lieu qu'aux dépens de sa largeur; cela se voit bien évidemment lorsqu'on passe un métal à la filière. Alors les molécules glissent les unes sur les autres sans quitter leur cohésion; mais comme, dans cette circonstance, la limite de l'*extensibilité* a été dépassée, les molécules déplacées ne tendent point à retourner à leur place. L'*extension* d'un solide dans les limites de son extensibilité n'augmente de même sa longueur qu'aux dépens de sa largeur; cela est évident lorsqu'on opère l'extension d'un morceau de gomme élastique. Par conséquent cette extension est le résultat d'un déplacement des molécules qui glissent les unes sur les autres sans quitter leur cohésion, et la contraction est le résultat de la tendance que possèdent les molécules à reprendre leur position primitive. Cette tendance dépend d'une force inhérente aux molécules, force qui est la cause de ce que nous appelons l'élasticité, mais qui est inconnue dans sa nature. Ainsi la *contraction de tissu* n'est dans le fait qu'un phénomène d'élasticité, sollicité par l'extension mécanique, laquelle, sans produire aucune flexion, produit simplement le déplacement des molécules dans certaines limites. La contraction vitale de la fibre musculaire est un phénomène d'un tout autre genre. La découverte de son mécanisme est due à MM. Prévost et Dumas. Ces physiologistes ayant soumis au microscope un muscle de grenouille assez mince pour être transparent, firent passer un courant galvanique au travers de ce muscle et dans le sens de la direction de ses fibres: A l'instant ses fibres, qui étaient droites, se fléchirent en zigzag, comme cela est représenté dans la figure 8 (pl. 30) que j'emprunte au Mémoire de MM. Prévost et Dumas. Cette flexion sinueuse des fibres musculaires sans opérer leur raccourcissement effectif, rapprocha cependant les unes des autres leurs deux extrémités opposées; en sorte que le muscle fut raccourci ou dans l'*état de contraction*. Ayant interrompu le courant galvanique, les fibres reprirent leur position en ligne droite; elles se courbèrent de nouveau en zigzag lorsque le courant galvanique fut rétabli. Cette curieuse expérience, qui a été répétée devant plusieurs physiologistes et dont j'ai moi-même constaté l'exactitude, prouve que, dans le cas dont il s'agit, la contraction musculaire consiste dans la flexion sinueuse des fibres dont les muscles sont composés. MM. Prévost et Dumas découvrirent en outre que les dernières ramifications des nerfs coupent à angle droit la direction des fibres musculaires, comme on le voit dans la figure 8; ces dernières ramifications partent à angle droit du tronc nerveux *aa*, lequel est parallèle aux fibres musculaires. MM. Prévost et Dumas observèrent que les sommets des courbures qu'affectent les fibres musculaires en se courbant sinueusement, existent toujours dans le lieu de leur intersection avec les filets nerveux. Cette observation leur a servi à établir la cause à laquelle ils ont cru pouvoir attribuer la flexion sinueuse de la fibre musculaire, ainsi que cela sera exposé tout à l'heure.

Les muscles des animaux à sang chaud comme ceux des animaux à sang froid ont présenté à MM. Prévost et Dumas le même phénomène de flexion sinueuse des fibres; ils l'ont retrouvé de même dans les muscles de l'estomac, des intestins, du cœur, de la vessie, etc.

Il était essentiel de déterminer si la flexion sinueuse de la fibre musculaire constituait à elle seule le phénomène de son raccourcissement ou de sa contraction. MM. Prévost et Dumas sont arrivés à cette détermination, en premier lieu, en

mesurant les muscles dans leurs deux états de relâchement et de contraction, et en comparant ces mesures avec les données d'un calcul basé sur la détermination approximative des angles que forment les plis de la fibre contractée. La ressemblance des résultats obtenus par ces deux moyens prouve que la quantité dont la fibre se raccourcit en se fléchissant sinueusement, représente assez exactement la quantité de la contraction du muscle. En second lieu, MM. Prévost et Dumas se sont assurés, en répétant l'expérience de Barzoletti, que les muscles, en se contractant, ne changent aucunement de volume. Cette expérience se fait en mettant la partie postérieure d'une grenouille, dépouillée de sa peau, dans un flacon rempli d'eau, lequel est fermé avec un bouchon que traverse un tube de verre dans la cavité capillaire duquel l'eau s'élève à une certaine hauteur. On excite des contractions dans les muscles de ces membres de grenouille au moyen d'un courant galvanique, et l'on voit qu'au moment où elles se manifestent, l'eau contenue dans le tube n'éprouve pas le moindre changement d'élévation, ce qui prouve bien évidemment que le muscle, en se contractant, ne change point de volume; ainsi, il n'est point douteux que la contraction ne consiste dans la flexion sinueuse de la fibre, laquelle n'est raccourcie que parce qu'elle a perdu sa rectitude. Cependant il est des circonstances où la contraction existe et même d'une manière très-étendue sans que l'on observe aucune flexion sinueuse des fibres, lesquelles conservent leur rectitude en se raccourcissant. Ainsi, MM. Prévost et Dumas ont vu que les muscles abdominaux de la grenouille, très-distendus par les œufs avant la ponte, se raccourcissent lorsqu'on les coupe transversalement à leurs extrémités, sans que leurs fibres présentent, au microscope, l'apparence d'aucune flexion sinueuse. Cependant celle-ci se manifeste si l'on fait traverser ces muscles déjà en partie contractés par un courant galvanique. Il en est de même des fibres musculaires de l'estomac, des intestins, de la vessie, etc.; elles s'allongent considérablement sous l'influence des causes de distension qui existent dans ces organes, et elles se raccourcissent sans présenter aucune flexion sinueuse jusqu'à ce qu'elles soient arrivées à un certain degré de raccourcissement. Alors seulement commence à se manifester leur flexion sinueuse. D'après ces observations, MM. Prévost et Dumas ont été conduits à admettre dans la fibre musculaire deux causes entièrement différentes de raccourcissement; la fibre distendue dans le sens de sa longueur tend à se raccourcir en vertu de son élasticité. Lorsqu'elle est arrivée au plus haut point de raccourcissement qu'elle peut acquérir par ce mécanisme, elle est dans l'*état de repos*, suivant l'expression de MM. Prévost et Dumas. Alors seulement elle serait susceptible de se fléchir sinueusement; cette flexion sinueuse de la masse de la fibre serait ainsi le seul phénomène auquel il conviendrait d'appliquer le nom physiologique de *contraction;* le raccourcissement antérieur de cette fibre distendue ne serait que l'effet de ce que Haller nomme l'*élasticité de la fibre* et que Bichat désigne sous le nom de *contractilité de tissu.*

Il n'y a pas de doute qu'il n'existe dans la fibre musculaire distendue jusqu'à un certain point une tendance à se raccourcir par élasticité. Cette propriété existe dans tous les solides; elle ne peut donc être étrangère à la fibre musculaire. Dans ce mode de raccourcissement, le solide n'offre point de plis transversaux à sa surface; les molécules qui, par l'effet de la distension mécanique, ont glissé les unes sur les autres pour produire l'allongement du solide, tendent, par l'effet de la force moléculaire qui constitue l'élasticité, à glisser de nouveau et en sens contraire les unes sur les autres pour reprendre leur position naturelle et primitive. C'est ce qui arrive, par exemple, lorsqu'une lanière de caoutchouc distendue mécaniquement est ensuite abandonnée à elle-même. La fibre musculaire peut et doit offrir les mêmes phénomènes. Distendue avec excès et de manière à déranger la

position de ses molécules, elle doit revenir sur elle-même par sa seule élasticité. C'est là son *raccourcissement physique*. Lorsque ce phénomène de raccourcissement est accompli, elle est alors dans l'*état de repos*, pour me servir de l'expression de MM. Prévost et Dumas, mais ce n'est point alors qu'elle n'a plus d'autre moyen de se raccourcir que celui de sa flexion en zigzag, ainsi que le pensent les savants que je viens de citer : après que le *raccourcissement physique* de la fibre est accompli et avant que le *raccourcissement physiologique* de cette même fibre ait lieu, au moyen de sa flexion en zigzag, la fibre musculaire se raccourcit par une autre action physiologique, qui est le premier phénomène de la contraction; elle se raccourcit alors sans perdre sa rectitude. Ce premier *raccourcissement physiologique* de la fibre a lieu au moyen des plis nombreux dont se couvre sa surface. Ce phénomène du plissement transversal de la fibre musculaire est connu depuis Leuwenhoeck, et il doit paraître étonnant que MM. Prévost et Dumas ne l'aient pas considéré comme concourant à produire la contraction ou le *raccourcissement physiologique* de la fibre musculaire. Ils ont confondu ce phénomène véritablement physiologique avec le phénomène purement physique du raccourcissement de la fibre par élasticité, lorsqu'elle a été préalablement distendue au delà de son déplissement. Ce n'est que lorsque la fibre musculaire s'est raccourcie physiologiquement, autant qu'elle peut le faire, en se plissant sans perdre sa rectitude, qu'elle commence à se fléchir en zigzag pour se raccourcir de nouveau, ou plutôt pour rapprocher davantage ses deux extrémités l'une de l'autre. Ainsi ce n'est pas ce dernier phénomène seul qui constitue la contraction musculaire, ainsi que le pensent MM. Prévost et Dumas; le phénomène du plissement de la fibre intervient aussi dans cette contraction, et c'est par lui qu'elle commence.

Cette distinction entre les phénomènes, qui opèrent le raccourcissement de la fibre musculaire, étant établie, je passe à l'étude du mécanisme, au moyen duquel s'opère le plissement transversal de la fibre et sa flexion en zigzag. C'est par ce dernier phénomène que je commence.

MM. Prévost et Dumas, après avoir découvert le phénomène de la flexion en zigzag de la fibre musculaire, durent chercher à déterminer la cause de cette flexion. Dans leurs expériences, c'était par l'influence d'un courant galvanique que cette flexion en zigzag s'opérait; ils furent donc portés à considérer ce phénomène de flexion comme entièrement dû à l'électricité. Voici leur hypothèse à cet égard. Ayant observé que les sommets des angles des flexions alternatives de chacune des fibres correspondent aux filaments nerveux qui les croisent dans leur direction, MM. Prévost et Dumas furent portés à penser que les filets nerveux *parallèles* entre eux et perpendiculaires aux fibres musculaires, comme on le voit dans la fig. 8, pl. 30, s'attirent *réciproquement* par l'effet du courant galvanique *qui les* traverse, suivant la loi découverte à cet égard par M. Ampère. Cette attraction réciproque des filets nerveux parallèles, et très-voisins les uns des autres, détermine leur rapprochement, et par suite la flexion sinueuse des fibres musculaires, qui leur sont adhérentes et qui sont ainsi ployées passivement. D'après cette hypothèse, les nerfs seuls seraient les organes actifs du raccourcissement du muscle. Les fibres musculaires seraient des fils inertes destinés seulement par la nature à assujettir les filets nerveux les uns aux autres. Dans l'état de vie les nerfs seraient traversés, comme dans l'expérience galvanique, par un courant électrique qui produirait les mêmes phénomènes que l'on observe dans cette expérience. Cependant MM. Prévost et Dumas ne purent obtenir la manifestation de cette électricité qu'ils supposent exister pendant la vie dans les nerfs.

On sent facilement tout ce qui s'oppose à l'admission d'une hypothèse qui efface les fibres musculaires de la liste des organes *actifs* de l'organisme vivant, d'une hypothèse qui considère les fibres musculaires comme étrangères à l'action du

muscle, qui les réduit à n'être que des fils inertes. Il n'est pas besoin, je pense, d'autres réflexions pour faire sentir combien cette hypothèse est peu fondée. L'expérience directe prouve d'ailleurs que la fibre musculaire est loin d'être inerte et qu'elle possède des mouvements qui lui sont propres, même lorsqu'elle est complétement isolée des filets nerveux. Ainsi, en arrachant avec des pinces très-fines quelques fibres musculaires sur un muscle dénudé d'une grenouille vivante et en les plongeant dans l'eau sous le microscope, on voit ces fibres dont quelques-unes sont parfaitement isolées, s'agiter en se courbant dans des sens alternativement inverses, exactement comme le font les filaments des oscillaires. Souvent il arrive que ces fibres ne se courbent que dans un seul sens et en spirale concentrique et serrée ou en peloton. Si l'on ajoute une très-faible quantité d'alcali à l'eau dans laquelle ces fibres sont plongées, elles tendent à se déployer et à se redresser; si, au lieu d'un alcali, on ajoute un acide affaibli à l'eau, les fibres ployées se courbent encore davantage.

Je reviendrai plus bas sur ces derniers faits. Toujours résulte-t-il de ces expériences que la fibre musculaire isolée de ses nerfs, manifeste des mouvements spontanés de flexion dans des sens alternativement inverses; elle n'est donc point un fil inerte, elle a une action de mouvement qui lui est propre. Il ne s'agit donc que de savoir si cette action, que l'observation démontre, peut expliquer non-seulement la flexion en zigzag de la fibre musculaire, mais aussi le plissement de sa surface. Je ferai d'abord observer que le plissement transversal de la fibre et sa flexion en zigzag sont deux phénomènes du même genre; ce sont deux modes différents de *flexion sinueuse :* dans le premier, la fibre éprouve une flexion sinueuse du tissu de la membrane tubuleuse qui la constitue extérieurement; dans le second, cette même fibre éprouve une flexion sinueuse de sa masse entière, en sorte que dans ce dernier cas elle perd sa rectitude qu'elle avait conservée jusqu'à un certain point dans le premier. Ces deux modes de flexion sinueuse opèrent également, et l'un après l'autre, le raccourcissement de la fibre. C'est d'abord en se plissant transversalement que la fibre se raccourcit ou se contracte; lorsqu'elle a atteint le plus haut point du raccourcissement qu'elle puisse obtenir par ce premier mode de flexion sinueuse, elle se raccourcit ou se contracte en se fléchissant en zigzag, second mode de flexion sinueuse qui ajoute son effet à celui qui l'a précédé. Alors la contraction de la fibre est arrivée à son plus haut point. Lorsqu'elle se relâche, elle s'allonge par la direction de sa flexion sinueuse de totalité et de sa flexion sinueuse intime; son zigzag et les plis de sa surface disparaissent. La contraction de la fibre étant ainsi ramenée au phénomène général de la *flexion sinueuse*, il ne s'agit plus que de déterminer quelle peut être la cause de cette flexion.

J'ai fait voir que chez les végétaux [1] tous les phénomènes du mouvement se rapportent à l'*incurvation* du tissu cellulaire ou du tissu fibreux. Le premier se courbe par implétion de liquide; le second se courbe par implétion d'oxygène. J'ai exposé plus haut ce qui me porte à penser que les mouvements d'incurvation par implétion de liquide existent dans le tissu utriculaire de certains organes chez les animaux et spécialement dans leur cœur dont il opère, selon moi, la dilatation ou la diastole. Il me paraît probable que la flexion sinueuse des fibres musculaires doit être rapportée à une tendance de ces fibres à l'incurvation par implétion d'oxygène, ainsi que cela a lieu pour le tissu fibreux des végétaux. D'abord il est bien connu que la fibre musculaire est sans action lorsqu'elle cesse de recevoir de l'oxygène, ce en quoi elle ressemble au tissu fibreux végétal. Il est donc fort probable que l'oxygène a pour les fibres musculaires le même usage qu'il a pour les fibres végétales, c'est-à-dire qu'il doit

[1] Voyez plus haut les Mémoires IX, X et XI.

servir à opérer leur implétion et par suite leur incurvation. Chez les végétaux, il n'existe point d'*incurvation sinueuse* du tissu fibreux; ce tissu offre toujours une seule courbure dans toute sa masse composée de fibrilles extrêmement déliées. Dans les muscles des animaux, les fibres composées de fibrilles extrêmement ténues, offrent une *incurvation sinueuse*, c'est-à-dire qu'elles affectent des courbures multipliées et dirigées dans des sens alternativement inverses. Il résulte de cette *incurvation sinueuse* un raccourcissement ou une *contraction* des fibres, phénomène qui est tout-à-fait étranger au tissu fibreux végétal, lequel ne présente que le seul phénomène de l'*incurvation simple*. On peut considérer le fibre musculaire comme possédant dans chacune de ses nombreuses courbures alternatives l'*incurvation simple* du tissu fibreux végétal. Cette fibre serait ainsi organisée de manière à posséder, dans ses parties qui se suivent, des tendances successivement inverses à l'incurvation; chacun des arcs de cette courbure sinueuse serait analogue, par exemple, à l'arc que forme un fragment de tissu fibreux enlevé longitudinalement sur le renflement moteur d'une foliole de haricot (voyez pages 253 et 255). De cette manière, le phénomène fondamental auquel serait dû le mouvement chez les animaux comme chez les végétaux, serait l'*incurvation*, et la propriété fondamentale en vertu de laquelle le mouvement existe serait l'*incurvabilité*. La *contractilité* cesserait, chez les animaux, d'être une *propriété fondamentale*, puisque la *contraction*, ou plus simplement le *raccourcissement*, ne serait plus que l'effet tout naturel de l'*incurvation sinueuse*. Or, l'*incurvabilité* elle-même cesse d'être une *propriété fondamentale* chez les végétaux, puisqu'on découvre chez eux les conditions physiques de son existence. Toute incurvation, chez les végétaux, dérive de la grosseur décroissante des organes creux qui composent le tissu incurvable; cela est également prouvé pour le tissu cellulaire (voyez page 226) et pour le tissu fibreux (voyez page 255). Il suffit que le tissu cellulaire à cellules décroissantes soit turgescent de liquide et que le tissu fibreux à fibres décroissantes soit turgescent d'oxygène chimiquement combiné, pour que ces deux tissus se courbent de manière à ce que leurs plus petits organes creux composants soient situés à la concavité de la courbure. Ici toute idée de *propriété d'incurvabilité* disparaît devant l'exposition des conditions physiques de l'incurvation; car l'on n'admet des *propriétés* que là où l'esprit ne peut suivre l'enchaînement des causes qui amènent certains effets. Le mot *propriété* équivaut alors à un signe algébrique indiquant *une inconnue*. Si les notions acquises sur le mécanisme et sur les causes de l'incurvation chez les végétaux sont applicables, comme je le pense, à l'incurvation sinueuse de la fibre musculaire des animaux, il en résultera que cette fibre possède dans son tissu fibrillaire un décroissement de grosseur des fibrilles, décroissement dont le sens alternativement inverse déterminera les incurvations successivement inverses de cette fibre, c'est-à-dire sa flexion sinueuse et par suite son raccourcissement ou sa *contraction*. Ces phénomènes de structure organique sont impossibles à voir chez les animaux; ils se cachent dans l'infiniment petit, qui est inaccessible à notre œil armé des meilleurs microscopes; il n'en est pas de même chez les végétaux, qui seuls pouvaient donner la connaissance directe du mécanisme intime des mouvements et par là, conduire, au moyen de l'analogie, à la connaissance indirecte du mécanisme intime de ces mêmes mouvements chez les animaux. C'est ici qu'apparaît dans tout son jour, l'importance de l'étude de l'anatomie et de la physiologie comparées dans les deux règnes animal et végétal. Chez les êtres vivants de ces deux règnes, les mouvements spontanés s'exécutent par le même mécanisme fondamental qui est celui de l'*incurvation*; mais, chez les végétaux, c'est l'incurvation seule qui est le *moyen immédiat* de motion, tandis que chez les animaux cette même incurvation n'est

qu'un *moyen médiat* de motion ; c'est en effet le raccourcissement opéré par l'incurvation sinueuse de la fibre qui est le *moyen immédiat* de motion chez les animaux. Ce raccourcissement du tissu fibreux par incurvation sinueuse est étranger aux végétaux. Ainsi les animaux se meuvent par *contraction* et les végétaux par *incurvation;* mais comme la contraction dérive en dernière analyse de l'incurvation, il en résulte que c'est cette dernière qui préside généralement aux mouvements des être vivants.

Je viens de supposer que la flexion de la fibre musculaire en arcs alternativement dirigés en sens inverses proviendrait de ce que cette fibre possèderait dans les diverses parties de sa longueur une organisation alternativement inverse et propre à produire cette direction alternativement inverse de ses courbures. Or, il serait possible que ce même phénomène de flexion sinueuse fût le résultat de la tendance de la fibre à se courber dans un sens unique et le même pour toute sa longueur ; j'ai souvent observé sous le microscope des fibres musculaires de grenouille arrachées à l'animal vivant et parfaitement isolées ; jamais je ne les ai vues présenter de flexion sinueuse ; toujours j'ai vu qu'elles se fléchissaient par un mouvement de totalité d'abord dans un sens, ensuite dans le sens opposé; elles finissaient par se courber profondément et par se rouler ou se pelotonner dans un seul sens. D'après cette observation, on pourrait penser que la fibre musculaire possèderait, seulement comme les filaments des oscillaires, ou comme le grêle pétiole des folioles de l'*hedysarum girans,* la faculté de se courber par une inflexion de sa totalité dans des sens alternativement inverses, mais qu'elle serait privée de la faculté de se courber sinueusement. Cette déduction de l'expérience ne serait pas juste; car la fibre musculaire, ainsi isolée et privée de rapport avec ses nerfs, n'est plus dans les conditions normales de son action ; toutefois je puis faire voir comment, en supposant cette déduction juste et légitime, il n'en résulterait pas moins que la fibre musculaire, fixée par ses deux extrémités, comme elle l'est dans le muscle dont elle fait partie, ne laisserait pas de se courber sinueusement. Pour faire comprendre facilement comme cela pourrait avoir lieu, je prendrai pour exemple la flexion sinueuse dont j'ai démontré le mécanisme dans les nervures de la fleur des *mirabilis* (voyez page 240). J'ai fait voir que ces nervures tendent par un mouvement de flexion de totalité à se courber *en dehors* pour opérer l'épanouissement de la corolle et à se courber *en dedans*, de même par un mouvement de totalité, pour opérer son occlusion. Or, lorsque l'incurvation *en dedans* se manifeste, les nervures ne pouvant point se courber dans leur entier et d'une manière concentriquement régulière, parce qu'elles en sont empêchées par le tissu de la corolle qui leur est organiquement lié, elles se courbent par petites portions ou par petits arcs que séparent les uns des autres autant de *flexions forcées* en sens opposé, en sorte qu'il en résulte une flexion sinueuse de la nervure considérée dans son entier. La moitié des flexions partielles ou des arcs, résulte de la tendance de la nervure à l'incurvation *en dedans;* l'autre moitié des flexions partielles dirigées en sens opposé, est le résultat d'une *flexion forcée* en contradiction avec la tendance naturelle à l'incurvation de ces portions fléchies. Or, il pourrait en être de même de la fibre musculaire en supposant qu'elle ne tende à se courber que d'un seul côté par un mouvement de totalité, ainsi qu'on le voit dans le *pelotonnement* de la fibre de grenouille isolée et plongée dans l'eau; ce *pelotonnement* ne pouvant avoir lieu, dans l'état naturel, parce que la fibre est fixée par ses deux extrémités, et que de plus elle est fixée par des liens organiques dans beaucoup de points de sa longueur, il en résulterait qu'elle se ploierait en arcs de cercle partiels placés les uns à la suite des autres. La moitié de ces arcs serait formée par l'*incurvation naturelle* de la fibre, l'autre moitié serait formée par une *flexion forcée*. Ce seraient peut-être les arcs de cette dernière moitié qui auraient offert

à MM. Prévost et Dumas des plis situés dans la concavité de la flexion, plis qu'ils ont attribués à la flexion forcée de la fibre, tout en convenant que ces plis ne se voient pas toujours. On conçoit en effet qu'ils ne doivent pas exister dans les arcs formés par l'incurvation spontanée. On voit ces plis dans quelques-uns des arcs des fibres fléchies sinueusement que représente la figure 8 (pl. 30). Il est fort difficile de déterminer quelle est la théorie que l'on doit admettre comme véritable en pareille circonstance. Au reste, soit que la fibre ait ses arcs inverses produits tous d'une manière active, soit qu'il y ait la moitié de ces arcs qui soient les résultats de flexions passives, il n'en demeurera pas moins prouvé que cette fibre possède en elle-même le principe de son incurvation active et qu'elle n'est point un fil inerte, comme l'admettent MM. Prévost et Dumas.

La fibre musculaire contractée, sous l'influence nerveuse, n'est point dans un état d'immobilité; elle est dans un état continuel d'oscillation qui semble attester que les petits arcs alternativement inverses dans lesquels elle est ployée sinueusement changent continuellement de place ou de direction. C'est cette *oscillation* ou cette *vibration* continuelle et rapide des fibres musculaires qui produit cette sensation de bourdonnement ou de frémissement que l'on entend en appliquant un stéthoscope sur un membre dont les muscles sont dans l'état de contraction; c'est de là que naît cette même sensation de bourdonnement que l'on entend en bouchant son oreille avec un doigt, ou mieux encore avec la paume de la main; c'est alors le frémissement oscillatoire des fibres des muscles du bras qui devient perceptible à l'ouïe. Ce fait prouve que nos expériences sur la fibre morte ne nous donnent qu'une idée très-incomplète du phénomène de la contraction dans l'état de vie. L'électricité galvanique, par exemple, provoque la flexion sinueuse de la fibre musculaire, mais elle ne fait point osciller cette fibre en changeant rapidement et continuellement le lieu ou la direction de ses arcs de flexion. Nous sommes donc bien loin de connaître le mode d'action et la nature de cette cause excitante intérieure, ou de cet influx excitateur nerveux qui fait fléchir sinueusement les fibres musculaires, comme le fait l'électricité galvanique et qui de plus les fait osciller.

Ce fait de l'oscillation des fibres musculaires paraît être du même genre que l'oscillation qui s'observe dans les filaments des oscillaires, dans le pétiole des filioles de l'*hedysarum girans* et même dans les feuilles de la sensitive soumise à une lumière continue (voyez page 286). Seulement ce mouvement oscillatoire est infiniment plus rapide chez les fibres musculaires qu'il ne l'est chez les parties végétales que je viens de citer. Ce phénomène d'*oscillation* qui, lorsqu'il est très-rapide, prend le nom de *vibration*, paraît donc être un phénomène général, puisqu'on l'observe chez les végétaux et chez les animaux [1].

J'ai dit plus haut que des fibres musculaires arrachées à une grenouille vivante étant plongées dans l'eau sous le microscope, on les voit se fléchir par un mouvement de totalité, et qu'une petite quantité d'acide ajoutée à l'eau augmente cette incurvation de la fibre. La petite quantité d'acide ajoutée à l'eau dans cette expérience ne peut agir en opérant le *raccornissement*; elle agit évidemment en augmentant l'incurvation de la fibre et cela seulement dans le sens où cette incurvation avait lieu avant l'addition de l'acide. Ainsi l'acide agit, dans cette circonstance, comme augmentant l'action naturelle d'incurvation de la fibre. Il est fort remarquable que les acides agissent d'une manière exactement semblable chez les végétaux. J'ai fait voir, en effet (page 229), que l'addition d'une petite quantité d'acide à l'eau dans laquelle baigne une valve de péricarpe de balsamine,

[1] Voyez à cet égard l'ouvrage de Purkinge et Valentin, intitulé : *De phænomeno generali, et fundamentali motûs vibratorii continui in membranis animalium plurimorum*, 1836.

augmente sur-le-champ l'incurvation que cette valve avait prise dans l'eau. Ici le degré de l'incurvation dépend du degré de l'implétion des cellules ou des utricules décroissantes qui composent le tissu incurvable. L'acide agit donc de manière à produire un effet semblable à celui qui serait produit par l'introduction d'une plus grande quantité d'eau dans les cellules du tissu cellulaire incurvable. L'effet réel de l'acide, dans cette circonstance, est de coaguler le liquide contenu dans les cellules; or, comme il est de fait que cette coagulation produit exactement ici le même effet que l'augmentation de l'implétion des cellules, il faut accepter ce fait donné par l'expérience, fait que, du reste, je ne crois pas facile à expliquer. Or, en se reportant au fait exposé plus haut touchant l'augmentation de l'incurvation des fibres musculaires par l'action d'un acide, on voit que ce dernier agit encore ici en coagulant le liquide intérieur de ces fibres qui deviennent opaques. Par le fait de cette coagulation, ces fibres se comportent comme si leur tissu éprouvait une implétion plus grande, et, en conséquence, elles augmentent leur incurvation. Si on ajoute une petite dose d'alcali à ces fibres courbées par l'action de l'acide, elles se redressent, et comme en même temps elles redeviennent transparentes, cela prouve que l'alcali a rendu la liquidité aux liquides que l'acide avait coagulés: ce fait de l'incurvation de la fibre par les acides qui coagulent, et le fait de son redressement par les alcalis qui rétablissent la liquidité dans l'intérieur des fibres musculaires, sont, je le répète, des faits qu'il faut accepter, parce que l'expérience les donne, mais je n'essaye point de les expliquer. Ces faits vont me servir à donner l'explication du phénomène de contraction que présentent les muscles après la mort et du phénomène de leur relâchement subséquent.

Nysten [1], en démontrant que la roideur des membres après la mort est produite par la contraction générale des muscles, est tombé dans une erreur palpable, en prétendant que cette contraction musculaire est un dernier phénomène vital : il a été porté à cette conclusion, par la considération de ce fait connu, que la roideur des membres cesse spontanément quelques jours après la mort. Il semble naturel, en effet, de conclure de cette observation que la contraction des muscles, après la mort, est un phénomène qui atteste un reste de vie, laquelle venant à s'éteindre complétement, au bout de quelques jours, entraîne alors, par sa cessation complète, la cessation de la contraction musculaire. Ceci est une erreur des plus évidentes. La contraction des muscles, après la mort, est le résultat de l'incurvation sinueuse de leurs fibres par l'effet de la coagulation des liquides qu'elles contiennent. Quelques jours après la mort, la putréfaction commence, il se forme de l'ammoniaque, et cet alcali opère la dissolution ou fait cesser la coagulation des liquides et, par suite, fait cesser l'état de contraction des fibres musculaires. Il n'y a donc rien de vital dans le phénomène de la contraction des muscles après la mort. Cette contraction et la roideur des membres qui en est la suite, n'ont point lieu lorsque la mort est produite par certaines causes d'asphyxie, lesquelles enlèvent en mêmes temps au sang la propriété de se coaguler. Ceci est un fait de plus qui prouve que la contraction des muscles après la mort est véritablement un phénomène produit par la coagulation des liquides contenus dans les fibres musculaires, coagulation qui produit chez elles un effet analogue à celui qui résulterait de l'augmentation de l'implétion de leur tissu. Or, c'est cette implétion du tissu des fibres, mais implétion d'un autre genre, implétion d'oxygène, qui, dans l'état naturel, paraît produire leur incurvation sinueuse ou, en d'autres termes, leur contraction.

On a prétendu que la fibrine du sang se contracte comme les fibres musculaires sous l'influence de l'électricité galvanique; mais cette assertion n'est fondée que sur

[1] Recherches de physiologie et de chimie pathologiques.

une erreur d'observation, laquelle sera rendue sensible par l'expérience suivante. J'ai mis une goutte de sang de grenouille dans l'eau que contenait un cristal de montre; cette goutte de sang s'est coagulée en formant une membrane diaphane et composée par l'agglomération des globules sanguins; cette membrane tapissait le fond du cristal; on pouvait l'enlever et l'agiter dans l'eau sans que ses globules composants quittassent leur adhérence mutuelle. Ayant ajouté une très-petite goutte d'acide nitrique à l'eau, je vis, au microscope, la membrane se resserrer sur elle-même; ainsi le solide formé par la coagulation du sang, est susceptible de présenter un resserrement général ou une sorte de *contraction* par le contact d'un acide même très-faible. J'ignore quel est le mécanisme de cette action de l'acide; il paraît qu'il occasionne la diminution du volume de tous les globules dont l'agglomération forme le caillot membraneux dont il est ici question. Quoi qu'il en soit, il est permis de penser que le mouvement que manifeste la fibrine du sang sous l'influence de l'électricité de la pile voltaïque, est un phénomène du même genre. Un acide libre se dégage au pôle positif de la pile, et il me paraît fort probable que c'est l'action de cet acide sur la fibrine qui détermine dans cette substance le mouvement de resserrement qu'elle présente dans cette circonstance, mouvement qui ne peut aucunement être comparé à la *contraction* ou à la flexion sinueuse de la fibre musculaire. A cette occasion je parlerai ici transitoirement d'un phénomène assez singulier, qui se manifeste lorsque de l'eau tenant en suspension ou en solution une petite quantité de sang est placée entre deux fils de platine qui sont en communication avec les deux pôles de la pile voltaïque. Une grosse goutte de cette eau sanguinolente étant placée sur une lame de verre soumise au microscope, et les deux fils conjonctifs touchant aux deux extrémités de cette grosse goutte allongée, on voit se produire auprès de l'extrémité de chacun des fils ou à chaque pôle une aire transparente qui est le résultat de la dissolution du sang par l'acide, produit au pôle positif, et par l'alcali produit au pôle négatif. La dissolution du sang par l'acide est incoloré, la dissolution du sang par l'alcali conserve la couleur rouge de ce fluide organique. Ces deux dissolutions augmentent rapidement d'étendue dans la goutte d'eau sanguinolente qui les contient et bientôt elles se joignent. Alors l'acide de l'une se combine, au point de contact, avec l'alcali de l'autre et la substance organique que ces deux agents chimiques tenaient en dissolution se précipite sous la forme d'un solide plissé. Si l'on intervertit les deux pôles de la pile par rapport aux deux extrémités de la goutte d'eau sanguinolente, la substance organique précipitée sous forme de solide plissé, disparaît rapidement; on voit alors de nouveau naître deux dissolutions, l'une acide et l'autre alcaline, auprès des deux fils conjonctifs, et le phénomène de formation par précipitation du solide plissé se renouvelle. Si, au lieu d'eau sanguinolente, on emploie pour cette expérience de l'eau à laquelle est ajoutée une petite quantité de jaune d'œuf, on voit des phénomènes analogues, et souvent il arrive que la matière organique solide qui se précipite au point de contact des deux dissolutions, acide et alcaline, se ploie en zigzag d'une manière très-régulière, ses plis se courbant alternativement dans des sens opposés sous l'œil de l'observateur armé du microscope. Je fus séduit par l'observation de ce singulier phénomène; je crus un instant que l'action de l'électricité voltaïque formait, dans cette circonstance, un solide organique analogue à la fibre musculaire, puisqu'il se ployait en zigzag comme elle; mais j'ai reconnu que c'était ici user trop légèrement de l'induction de l'analogie.

L'absorption, cette action par laquelle les êtres vivants introduisent dans leur organisme les substances du dehors, a été considérée par la plupart des physiologistes comme une action vitale tout à fait différente de la simple imbibition, telle qu'elle a lieu dans les corps minéraux.

Cependant, M. Magendie a prétendu et a essayé de démontrer que l'absorption n'était qu'une véritable *imbibition* due à la capillarité. Il y a dans cette assertion une part pour la vérité et une part pour l'erreur; mais cette dernière était ici bien pardonnable, puisqu'elle tenait au défaut de connaissance d'un phénomène qui n'était pas encore découvert; ce phénomène est celui de l'endosmose. C'est incontestablement l'endosmose, qui opère l'introduction de l'eau ou de la séve lymphatique dans le tissu organique des végétaux; on en doit conclure par analogie, que c'est également l'endosmose qui opère l'introduction des substances liquides dans le tissu organique des animaux. Cependant, on peut objecter à cette théorie, que quelquefois l'absorption est *élective* chez les animaux. Ainsi, le chyle mêlé dans les intestins aux matières fécales est seul absorbé; comment cela s'opèrerait-il à l'aide de la seule endosmose? Il me semble que l'existence constante de l'hydrogène sulfuré dans les matières fécales, est un fait qui répond à cette objection. J'ai démontré, en effet, que les liquides imprégnés d'hydrogène sulfuré opèrent l'endosmose dans un sens diamétralement opposé à celui dans lequel ils opèreraient ce phénomène sans l'adjonction de cette substance (voyez page 45). On conçoit dès lors comment il se fait qu'une substance fortement hydrosulfurée, comme l'est la matière fécale, ait une tendance à l'endosmose ou à la transmission au travers des parois des vaisseaux absorbants dans un sens diamétralement opposé à celui de la tendance à l'endosmose, qui est propre à un liquide organique tel que le chyle. Si ce dernier est introduit par endosmose dans les vaisseaux chylifères et au travers de leurs parois, les liquides hydrosulfurés que contient la matière fécale, qui ont tendance à opérer l'endosmose dans un sens opposé, doivent nécessairement n'y point être admis. Ainsi l'hydrogène sulfuré, dont l'odeur révoltante semble accuser les fonctions intestinales d'une dégoûtante imperfection, intervient, au contraire, comme condition indispensable de l'exercice de ces fonctions. C'est un trait nouveau à ajouter aux considérations sur la perfection qui règne partout dans l'admirable machine organique.

Toutes les sécrétions s'opèrent dans les utricules qui composent les organes sécréteurs par leur agglomération. Ainsi ce sont les parois de ces utricules qui sont seules chargées de la *sécrétion*, laquelle est quelquefois une simple séparation de certaines substances contenues dans le sang, et qui d'autres fois consiste dans une élaboration particulière ou dans la *fabrication* d'un liquide. Les expériences de MM. Prévost et Dumas ont prouvé que l'urée existe toute formée dans le sang des animaux, en sorte que l'action des reins consiste à séparer du sang cette matière qui s'y trouve; mais l'urine contient d'autres substances qui ne sont point toutes formées dans le sang; leur production est donc un résultat de l'action des organes sécréteurs de l'urine. La bile n'existe point toute formée dans le sang; elle est donc formée ou *fabriquée* par les utricules qui composent le foie. Ainsi, on peut considérer ces utricules comme des *filtres chimiques*, dont les parois élaborent, en les transmettant, les liquides qui les traversent. La théorie qui établit l'origine des liquides sécrétés dans les utricules élémentaires des organes sécréteurs, n'est point hypothétique; elle est fondée sur l'observation la plus positive. Il suffit d'examiner au microscope l'organe salivaire d'un *helix*, pour voir de la manière la plus distincte les utricules assez grosses dont il est composé; on voit les canaux excréteurs et les vaisseaux sanguins ramper entre ces utricules. Les vaisseaux sanguins sont ici des moyens d'irrigation pour les utricules auxquelles ils fournissent, par transsudation, les matériaux de la nutrition et de la sécrétion; les canaux excréteurs communiquent peut-être immédiatement avec l'intérieur des utricules, peut-être ne reçoivent-ils le liquide sécrété que par transsudation; il me paraît impossible de savoir quelque chose de positif à cet égard.

Les animaux étant, comme les végétaux, composés de cellules ou d'utricules agglomérées, l'accroissement ne peut s'opérer, chez les uns comme chez les autres, que par l'addition de nouvelles utricules; le mécanisme de cette addition qui constitue la nutrition, n'est pas encore connu. Je renvoie à ce que j'ai dit sur cet objet en traitant de l'accroissement des végétaux (page 81). Quelques observations m'avaient porté à penser que les globules sanguins se fixent aux organes par une agrégation intercalaire, et que ce sont ces globules fixés, qui forment les globules élémentaires dont se composent tous les organes; mais cette théorie me paraît aujourd'hui inadmissible. J'ai vu, il est vrai, assez souvent des globules sanguins suspendre leur mouvement et demeurer fixés dans le tissu organique transparent de la queue des têtards, mais cela provenait probablement de ce que ces globules étaient engagés dans des vaisseaux trop petits; ce n'était point là un phénomène de nutrition et d'accroissement.

Le sang, vu au microscope, se montre composé de globules qui nagent dans un liquide séreux; ces globules, observés pour la première fois par Leuwenhoeck, ont été étudiés depuis par un grand nombre d'observateurs parmi lesquels se trouvent Haller, Spallanzani, Hewson, Everard Home, Bauer et enfin MM. Prévost et Dumas. Il y a bien peu de chose à ajouter à tant d'excellents travaux; mon intention n'est donc que de présenter ici quelques observations sur ce point important de la science, et non de l'approfondir.

Les globules sanguins sont composés de deux parties, savoir : d'un noyau central qui est opaque, et d'une enveloppe demi-transparente et fort délicate qui se dissout rapidement dans l'eau, et qui contient la matière colorante à laquelle le sang doit sa couleur rouge. Suivant la remarque d'Everard Home, cette enveloppe membraneuse extérieure se détache et se précipite au bout d'une demi-minute, et forme une sorte de collerette au globule situé sur le porte-objet du microscope. Le sang du protée offre cela de très-particulier que plusieurs globules agglomérés sont enveloppés par une seule enveloppe membraneuse extérieure. M. Prévost de Genève m'a rendu témoin de ce fait très-curieux.

Les premiers observateurs s'accordèrent à considérer les globules du sang comme sphériques; quelques-uns, trompés par une illusion d'optique, crurent qu'ils étaient percés d'un trou dans leur milieu. Hewson le premier affirma que la forme des globules sanguins est celle d'un disque aplati pourvu d'un renflement dans son milieu. Bauer et Everard Home restituèrent aux globules sanguins leur forme sphérique. Enfin MM. Prévost et Dumas, après des observations très-nombreuses, se sont rangés de l'avis de Hewson; ils ont considéré les globules sanguins comme ayant une forme discoïde. Une pareille dissidence d'opinions entre des observateurs dont les assertions méritent une égale confiance, aurait de quoi surprendre s'il n'était pas probable que ces assertions différentes sont également fondées. Il n'est pas douteux, en effet, qu'il n'y ait beaucoup de globules sanguins discoïdes, surtout chez les reptiles batraciens; mais l'observation la moins attentive suffit pour voir qu'il y en a aussi d'ellipsoïdes et même en bien plus grand nombre. C'est presque toujours sous cette apparence que les globules se présentent à l'observation microscopique. On pourrait peut-être penser que cela proviendrait de ce que ces globules aplatis se présenteraient plus fréquemment à la vue par leur surface plate que par leur bord vu de champ, et cela parce que les porte-objets du microscope étant toujours horizontaux, la pesanteur dispose les globules discoïdes dans une position parallèle au porte-objet, en sorte qu'on les voit ronds ou elliptiques. Pour éviter cette cause d'erreur, j'ai observé la circulation dans la queue transparente d'un têtard tenu dans une position verticale; mon microscope était alors dirigé horizontalement. Si la pesanteur eût influé sur la position horizontale des globules discoïdes, j'aurais dû,

dans cette observation, voir la plus grande partie des globules de champ ou dans le sens de leur aplatissement. Or, je vis tous ces globules, comme à l'ordinaire, avec la forme elliptique. Il me paraît donc certain que les globules sanguins sont généralement sphéroïdes ou ellipsoïdes, et qu'il y a parmi eux un certain nombre de globules discoïdes. Cette assertion d'ailleurs semble confirmée par les observations qui ont été faites par Fontana et par Spallanzani sur le changement de forme que peuvent subir les globules sanguins. Fontana a vu chez la grenouille, et Spallanzani chez la salamandre, que les globules engagés dans un vaisseau dont le calibre était plus petit que ne l'était leur propre diamètre, se changeaient, pour le traverser, en un ellipsoïde très-allongé, qu'ils se courbaient en croissant dans les angles de jonction de l'un de ces petits vaisseaux avec un autre, et qu'enfin ils reprenaient leur forme ordinaire lorsqu'ils étaient parvenus dans un vaisseau plus large. Il est certain que de pareils changements de forme ne pourraient pas être présentés par un disque fort aplati; un sphéroïde seul peut les présenter.

La privation de nourriture diminue le nombre des globules sanguins. J'ai conservé un têtard de crapaud accoucheur pendant une année entière sans lui donner de nourriture. On ne voyait plus aucun globule sanguin dans les vaisseaux, observés au microscope dans les parties transparentes de la queue; aussi la circulation ne pouvait-elle plus y être aperçue. Le sang ne consistait plus que dans un liquide séreux dont le mouvement ne pouvait se dénoter à la vue. Cette observation prouve que l'existence des globules sanguins n'est pas indispensable pour l'existence de la vie; elle prouve en même temps que ces globules sont consommés par les actes de la nutrition ou des sécrétions, et que leur nombre est réparé par les aliments.

Leuwenhoeck avait cru voir que les globules sanguins tournent sur eux-mêmes; Haller [1] et Spallanzani [2] ont affirmé, avec juste raison, que ce mouvement de rotation des globules sanguins n'existe pas. Ces deux grands observateurs s'accordent pour reconnaître dans les globules sanguins une tendance réciproque à la répulsion, qui ne cesse que lorsque le sang cesse de circuler aux approches de la mort. Tant que la circulation subsiste, on voit les globules sanguins se tenir constamment éloignés les uns des autres; jamais ils ne se heurtent, jamais ils ne se touchent. Spallanzani a vu souvent que, lorsque deux globules se présentaient pour entrer dans un vaisseau qui n'en pouvait admettre qu'un seul, il y en avait un qui était repoussé et qui prenait un mouvement rétrograde sans avoir touché le globule qui le devançait. Haller [3] a observé qu'un de ces globules sanguins, étant placé dans une anfractuosité d'un vaisseau où il demeurait stationnaire, il repoussait sans les toucher les globules sanguins que le mouvement circulatoire portait sur lui. Aux approches de la mort, cette répulsion réciproque des globules sanguins cesse d'exister; alors Haller a vu ces globules se réunir les uns aux autres, et perdre par ce contact mutuel leur forme sphérique qu'ils reprenaient en se séparant, lorsque la vie et la circulation venaient à se ranimer. Mes observations à cet égard confirment pleinement celles de Haller et de Spallanzani. La circulation du sang observée dans les parties transparentes des têtards et des jeunes salamandres m'a toujours fait voir les globules sanguins constamment éloignés les uns des autres tant que la circulation et la vie ont une certaine activité; mais lorsque la vie commence à s'éteindre, lorsque, la circulation étant devenue languissante, le sang s'avance dans les artères pendant la systole du cœur et rétrograde dans ces mêmes artères pendant la diastole du cœur,

[1] Mémoire sur le mouvement du sang.
[2] De' fenomeni della circolazione.

[3] Deuxième Mémoire sur le mouvement du sang.

alors les globules sanguins s'agglomèrent en petits caillots dans les vaisseaux, et ces globules ainsi agglomérés marchent encore quelque temps, avançant et reculant alternativement sans quitter leur adhésion. J'ai fait particulièrement cette observation en asphyxiant de jeunes têtards ou de jeunes salamandres renfermés dans un cristal de montre rempli d'eau et recouvert hermétiquement avec une lame de verre. Lorsque tout l'oxygène dissout dans l'eau était absorbé par la respiration de l'animal, je voyais les phénomènes de l'asphyxie se dénoter d'abord par l'état languissant de la circulation, ensuite par le mouvement alternativement progressif et rétrograde du sang. C'était alors que les globules sanguins commençaient à s'agglomérer, et la circulation ne tardait pas à cesser tout à fait. La mort cependant n'était pas encore complète, ou du moins il y avait encore facilité de retour à la vie; car en rendant de l'eau aérée à l'animal asphyxié, je voyais la circulation se ranimer peu à peu, et les globules agglomérés quittaient leur adhésion mutuelle. Cette tendance que manifestent les globules sanguins à se repousser mutuellement tant que la vie et la circulation subsistent, est un phénomène qui mérite toute l'attention des physiologistes.

Le sang nouvellement extrait des vaisseaux et observé au microscope avec les rayons solaires, manifeste dans ses globules un mouvement de trépidation fort rapide. Ce même mouvement de trépidation des globules s'observe dans les vaisseaux des parties transparentes d'un animal qui vient de mourir. Ce phénomène a été découvert par le docteur Schultz [1], dont j'ai rapporté ailleurs les observations sur un mouvement de trépidation semblable, qu'il a également découvert dans les feuilles de la grande chélidoine (voyez ci-dessus page 219). Le docteur Schultz, trompé par une illusion d'optique, rapportait à un rapide mouvement de progression du latex de cette plante, ce qui n'était ici que l'effet d'un mouvement de trépidation des globules. La même cause d'erreur l'a porté à admettre un mouvement rapide de progression dans le sang que contiennent les vaisseaux de l'animal qui vient de mourir, c'est-à-dire à admettre une continuation de la circulation du sang. J'ai répété les observations du docteur Schultz, et je me suis assuré que cette prétendue circulation, après la mort, n'existe point. J'ai coupé l'oreille d'une souris vivante et je l'ai soumise au microscope en l'éclairant avec la lumière diffuse. Je n'ai aperçu aucun mouvement dans les vaisseaux sanguins de cette oreille transparente. Je l'ai éclairée ensuite avec les rayons solaires : à l'instant un mouvement de trépidation des globules extrêmement vif s'est manifesté dans le sang que contenaient les vaisseaux sanguins, et ce mouvement de trépidation présentait l'apparence trompeuse d'un courant. *L'oreille* de souris soumise à l'influence de la chaleur développée par les rayons solaires se dessèche assez rapidement, si l'on n'a pas le soin de l'humecter avec un peu d'eau. Avec cette précaution, j'ai pu observer le mouvement de trépidation dans les vaisseaux sanguins de l'oreille de souris pendant vingt-cinq minutes. Ce mouvement, tout à fait semblable à celui qui s'observe dans les nervures de la grande chélidoine, est, comme lui, sujet à des intermittences qui ne durent guère qu'un quart de seconde : après ce moment de repos, il recommence avec la même rapidité qu'auparavant. Ces mêmes intermittences de la trépidation des globules s'observent dans le sang extrait des vaisseaux et placé sur le porte-objet du microscope. Le sang contenu dans les vaisseaux sanguins du mésentère extrait du corps de la souris, même une heure après sa mort, m'a offert le même mouvement de trépidation des globules, et il m'a été bien facile de voir qu'il n'y avait point là de progression du sang dans les vaisseaux, car j'ai vu un des petits vaisseaux du mésentère dont les deux extrémités ouvertes ne versaient

[1] Le Mémoire du docteur Schultz se trouve dans le XIXe tome du Journal complémentaire du Dictionnaire des Sciences médicales.

point de sang, et cependant ce liquide, dont il était rempli, offrait un mouvement de trépidation très-vif et l'apparence d'un courant fort rapide. Lorsque ce mouvement de trépidation des globules du sang touche à sa fin, il devient de plus en plus intermittent. Les intermittences durent alors quelquefois une ou deux minutes, puis le mouvement de trépidation renaît subitement pour cesser bientôt après tout à fait. J'ai observé comparativement, sous ce point de vue, le sang artériel et le sang veineux, le sang de mammifères et celui des reptiles; j'ai vu partout la même rapidité dans le mouvement de trépidation des globules du sang soumis à l'action des des rayons solaires.

La cause du mouvement de trépidation du sang et du mouvement apparent de rapide progression qu'il présente, lorsque, renfermé dans ses vaisseaux transparents, il est soumis aux rayons solaires, est encore inconnue.

Lorsqu'il existe une inflammation dans une partie, le sang y est attiré en plus grande quantité que dans l'état naturel. Ce fait bien connu a donné lieu à des hypothèses que je ne reproduirai pas ici. Je me contenterai de faire observer que cette abondance du sang dans une partie enflammée n'est point le résultat d'un embarras dans la circulation du sang dans cette partie; il est très-certain que ce qui a lieu alors n'est que l'exagération de ce qui a lieu dans l'état de santé. Le sang, poussé par le cœur dans les artères, est attiré par les capillaires, en sorte qu'il se meut en vertu d'une *impulsion* et en vertu d'une *attraction*; semblable en cela à la séve lymphatique des végétaux qui se meut de bas en haut, poussée par les spongioles des racines et attirée par les feuilles. Or j'ai fait voir (page 210) que la force qui préside à l'attraction de la séve par les feuilles trouve sa source dans la fixation de l'oxygène dans le tissu intime de ces organes. Il paraîtra, en conséquence, fort probable qu'il en est de même de la force qui préside chez les animaux à l'attraction du sang artériel par les capillaires. Les causes excitantes sont des causes de fixation d'oxygène [1]. On conçoit donc que la fixation de l'oxygène du sang artériel étant augmentée localement par ces causes excitantes, il résultera de cette fixation d'oxygène une augmentation de production de la force attractive inconnue qui *appelle* le sang dans la partie sur-excitée ou *enflammée*. Ce fait de l'attraction des liquides et de son rapport avec la fixation de l'oxygène dans le tissu organique m'a été prouvé directement chez les végétaux. On sent facilement toute la puissance de l'induction d'analogie qui tend à le faire admettre chez les animaux. C'est encore là l'un de ces cas où la physiologie végétale pouvait seule éclairer la physiologie animale.

Je terminerai ce Mémoire par l'étude du mécanisme des mouvements que manifestent les fameux *tubes à ressort* que l'on trouve dans la laite de plusieurs mollusques céphalopodes. Ces tubes, découverts par Swammerdam dans la laite de la seiche [2], ont été observés avec beaucoup plus de soin par Needham, dans la laite de calmar [3]. Il n'y a véritablement rien à ajouter aux observations de ce dernier naturaliste, relativement à la forme de ces tubes et à celle de leurs diverses parties. Il a de même parfaitement observé les phénomènes de mouvement qu'ils présentent, lorsqu'on les met dans l'eau. Je ne puis donc mieux faire que de reproduire ici ses figures et la description qu'il donne des phénomènes dont il s'agit ici, phénomènes que j'ai eu occasion d'observer également. Ce n'est que relativement à l'explication de ces phénomènes que j'ai quelque chose de neuf à présenter.

[1] Voyez ci-dessus mon mémoire intitulé : *De l'usage physiologique de l'oxygène considéré dans ses rapports avec l'action des excitants.* Voyez aussi mon mémoire sur l'*excitabilité végétale* dans le t. 1. p. 536.

[2] Biblia naturæ. Anatome sepiæ maris.

[3] An account of some new microscopical discoveries, 1745.

C'est dans le mois de décembre que la laite du calmar commence à prendre du développement, et un certain temps après on la trouve remplie par un liquide dans lequel se trouvent en nombre immense les célèbres *tubes à ressort* dont il est ici question. La figure 9 (planche 30) représente très-grossi l'un de ces tubes microscopiques; il se compose : 1° d'un tube extérieur *t e*, qui est membraneux et transparent; 2° d'un tube intérieur également transparent, dans lequel on voit en haut un fil contourné en spirale *r*; vers le milieu, se voit un petit corps renflé *p*, auquel Needham a donné le nom de *piston*; au-dessous de lui se trouve un autre corps renflé *b*, qui a été désigné sous le nom de *barillet*; au-dessous de ce dernier, on observe un corps opaque et allongé *a c*, qui tient au barillet *b* par un tube étroit *l*. Aussitôt que l'un de ces tubes est mis en contact avec l'eau, on voit s'accomplir avec rapidité les phénomènes suivants. Le tube intérieur qui contient le fil contourné en spirale *r*, sort avec lui du tube extérieur *t e* par une ouverture située à l'extrémité *t* de ce tube extérieur. Le piston *p*, le barillet *b* et le corps opaque *a c*, suivent le fil spiralé *r* dans ce mouvement de sortie, en sorte que l'on voit le corps opaque *a c* abandonner l'extrémité *e* du tube extérieur et arriver promptement à l'autre extrémité *t* de ce même tube, par l'ouverture duquel il sort tout à fait, suivant ainsi les parties *b*, *p*, *r*, qui l'ont précédé dans ce mouvement de sortie. Pendant que cela s'opère, le tube extérieur *t e*, loin de s'affaisser ou de se contracter, conserve son état d'implétion et de turgescence; il demeure évidemment gonflé par l'eau qui remplace les parties qu'il contient à mesure qu'elles sortent. Lorsque cette sortie qui est fort rapide est terminée, le corps opaque *a c* (figure 9) prend sur-le-champ un accroissement considérable en grosseur et en longueur, comme on le voit dans la figure 10, *a c*. Le canal étroit *l* qui, dans la fig. 9 joint le corps opaque *a c* au barillet *b*, est devenu, dans la figure 10, aussi gros que le corps opaque *a c*, avec lequel il se confond ainsi qu'avec le barillet *b*. Bientôt ce barillet *b* (figure 10) se sépare par rupture du piston *p*, et alors on voit le liquide granuleux que contient dans son intérieur le corps opaque tubuleux *c*, *a*, *b*, se déverser au dehors *s*, et se répandre dans l'eau environnante. Le fil spiralé *r* (fig 9) qui est sorti le premier par l'ouverture *t* du tube extérieur, demeure attaché au bord de cette ouverture (figure 10) après que toutes les parties contenues dans ce tube sont sorties. Telle est la manière dont s'accomplit le phénomène; il s'agit actuellement d'en trouver la cause.

L'existence du fil disposé en spirale *r* (fig. 9) à l'extrémité du tube qui donne issue aux parties que contient ce dernier, dut faire penser d'abord que ce fil disposé comme un *ressort à boudin* faisait effort par son élasticité pour faire ouverture à l'extrémité du tube avec laquelle il se trouvait en contact; c'est même de là qu'est venu le nom fort impropre de *tubes à ressort* qui a été donné à ces tubes. Needham a prouvé que cette opinion ne pouvait être admise, en faisant voir que ce fil en spirale ne possède par lui-même aucune force d'élasticité. Il a prouvé, en même temps, par diverses expériences que le principe des mouvements qu'exécutent les parties contenues dans ces tubes, réside principalement dans le corps opaque *a c* (fig. 9) et cela en vertu de la tendance énergique que ce corps manifeste pour l'expansion. Cependant cela ne donnait pas l'explication de la rapide sortie de ce corps *a c* hors du tube extérieur. Needham soupçonna qu'il existait dans le tube extérieur un fluide très-élastique dont l'expansion comprimait le corps *a c* et le forçait à sortir de ce tube lorsqu'une issue lui était offerte à l'extrémité *t* de ce tube. Afin de voir si ce soupçon était fondé, il mit dans le vide de la pompe pneumatique, de la laite de calmar remplie de tubes, espérant que l'action du vide favoriserait l'expansion du fluide élastique qu'il supposait exister dans les tubes et que leurs parties intérieures seraient ainsi chassées au dehors sans le concours du contact de l'eau; mais cette expérience

ne justifia point ses prévisions ; les tubes ne manifestèrent aucune action. Ainsi la cause du mouvement d'évacuation de ces tubes continua à demeurer problématique. Buffon crut pouvoir employer la considération de ces phénomènes pour fortifier son hypothèse sur la vitalité des *molécules organiques*, au moyen desquelles il expliquait la génération des animaux ; mais on ne peut considérer ces mouvements des tubes séminaux des céphalopodes comme des mouvements vitaux, puisqu'ils se manifestèrent chez les tubes d'une seiche conservée depuis plusieurs années dans l'alcool, lorsqu'ils furent mis dans l'eau. Cette observation est due à G. Cuvier [1], qui pense que le principe du mouvement que manifestent ces tubes, réside dans l'élasticité du corps filiforme contourné en spirale, lequel ferait effort par son élasticité pour sortir du tube extérieur lorsque la membrane qui le retient à l'extrémité de ce tube vient à être amollie par l'eau. Or, d'après les observations très-précises de Needham, cette explication ne peut être admise.

Tel était l'état de cette question, lorsque j'ai trouvé l'occasion d'observer par moi-même les phénomènes que présentent les tubes séminaux des céphalopodes, lorsqu'on les met dans l'eau. Dès la première vue de ces phénomènes, il me fut facile de reconnaître là l'existence de l'endosmose. Voici comment ces phénomènes sont produits. Un liquide organique plus dense que l'eau existe dans le tube extérieur *t e* (fig. 9), c'est lui qui remplit l'extrémité *e* de ce tube dans laquelle ne s'étend point le corps opaque *a c*. A l'instant du contact de l'eau sur la partie extérieure du tube *t e*, l'endosmose introduit avec force l'eau dans l'intérieur de ce tube au travers de ses parois. Cette eau introduite avec excès comprime les parties contenues dans le tube *t e* et les chasse vers son extrémité *t*, qui s'ouvre sous cet effort impulsif ; l'eau continuant d'affluer rapidement dans le tube *t e* par l'effet de l'endosmose, chasse hors de ce tube toutes les parties qu'il contenait et prend leur place, en sorte que ce tube conserve son état d'implétion et de turgescence. Le corps opaque *a c* est lui-même un tube membraneux extensible rempli par un liquide très-dense. L'endosmose introduit donc aussi l'eau dans son intérieur ; l'introduction continuelle et rapide de ce liquide dans ce tube *a c* (fig. 10), déjà chassé hors du tube extérieur *t e*, l'accroît en grosseur et en longueur et cela jusqu'au point de provoquer sa rupture dans l'endroit où le barillet *b*, qui fait partie de ce tube, est joint au piston *p* qui, à ce qu'il paraît, n'a point de cavité continue avec celle du tube *c a b*. Ce point de jonction, qui paraît être l'endroit le plus faible du tube *c a b*, étant rompu, le liquide dense et granuleux que contient ce tube se déverse dans l'eau environnante par cette extrémité ouverte ; il est chassé hors du tube par l'eau que l'endosmose continue d'introduire au travers de ses parois. Ce phénomène d'expulsion est tout à fait semblable par sa cause et par son mécanisme à celui que j'ai observé dans les petits sacs spermatiques de la limace (voyez ci-dessus, page 15) ; c'est de même indubitablement ici le liquide spermatique, qui, contenu dans le tube opaque *b a c* (fig. 10), en est expulsé par l'eau que l'endosmose introduit dans ce tube, et c'est la même cause qui a expulsé ce tube opaque lui-même du tube extérieur et transparent *e t*. Le mécanisme de cette expulsion ne pouvait être connu avant la découverte de l'endosmose, de là les erreurs dans lesquelles sont tombés ceux qui ont voulu l'expliquer. Cependant Needham avait entrevu que cette expulsion était opérée par l'action d'un fluide qui, augmentant graduellement de volume, chassait devant lui les parties qu'il remplaçait dans le tube extérieur ; mais n'imaginant pas que ce fluide fût l'eau introduite au travers des parois du tube, il crut que c'était un fluide élastique gazeux, et il fut très-surpris de ne point voir ce prétendu fluide élastique se dilater dans le vide de la pompe pneumatique et expulser ainsi

[1] Leçons d'anatomie comparée, tome v, p. 169.

les parties contenues dans le tube extérieur. Toutefois cela prouve que Needham avait aperçu le véritable mécanisme de l'expulsion dont il est ici question. Il ne lui a manqué que de savoir que le fluide impulsif était l'eau et qu'elle était introduite dans le tube au travers de ses parois par une action physique alors inconnue, c'est-à-dire par l'endosmose. Avec cela il existe dans les tubes dont il s'agit ici une disposition organique qui a été une cause d'erreur très-décevante : c'est l'existence dans le tube extérieur *t e* (fig. 9) d'un corps filiforme *r*, disposé en spirale et semblable à un *ressort à boudin*. On a été porté naturellement, par cette observation, à considérer les mouvements qui se manifestent dans ce tube comme l'effet du ressort que l'on croyait y voir. On compara ensuite ce tube extérieur à un corps de pompe dans lequel on reconnut un *piston* et un *barillet*; de là le nom de *pompes séminales* donné par Needham à ces tubes spermatiques. Le fait est qu'il n'y a là ni *piston*, ni *barillet*, ni *ressort à boudin*, ni *pompe*; toutes les parties auxquelles on a donné ces noms, ne les méritent en aucune façon. Ce sont des particularités de structure anatomique qui ne servent en rien au mécanisme des mouvements que l'on observe dans les tubes spermatiques auxquels elles appartiennent.

Les tubes spermatiques n'exécutent les mouvements qui leur sont propres que lorsqu'on les met dans l'eau ; Needham a observé qu'ils n'ont point lieu dans l'huile, et la cause en est évidente, puisque l'endosmose ne peut avoir lieu que lorsque les deux liquides que sépare une cloison perméable sont miscibles (voyez plus haut page 21). Or, le liquique organique contenu dans les tubes spermatiques n'est point miscible à l'huile. L'émission des parties contenues dans les tubes spermatiques n'a point lieu non plus lorsqu'on les plonge dans l'alcool, et cela parce que, dans les expériences d'endosmose, l'alcool agit comme un liquide très-dense (voyez ci-dessus, page 31). Il agit par conséquent de la même manière que le liquide organique très-dense que contiennent les tubes spermatiques, et dès-lors il ne peut y avoir d'endosmose dans cette circonstance ; les deux liquides intérieur et extérieur ont alors une égalité d'action qui rend l'endosmose nulle ou à peu près. Ces tubes spermatiques conservés dans l'alcool, s'en imbibent, et lorsque ensuite on vient à les mettre dans l'eau, ce dernier liquide s'introduit par l'endosmose dans leur intérieur et chasse au dehors leurs parties internes, ainsi que l'a observé G. Cuvier. Dans cette circonstance, l'alcool mêlé au liquide organique dense que contiennent les tubes spermatiques en contact au dehors avec l'eau, détermine l'endosmose implétive de ces tubes, et par conséquent l'évacuation des parties intérieures de ces tubes a lieu comme dans l'état frais. J'ai observé avec Needham que les phénomènes que présentent les tubes spermatiques plongés dans l'eau ont lieu encore plusieurs jours après la mort de l'animal ; mais ces mêmes phénomènes cessent de se montrer, lorsque l'organe qui les contient commence à répandre une odeur de putréfaction. Cependant les tubes spermatiques observés alors au microscope, ne manifestent encore aucune altération dans leurs formes, ni dans leur structure ; pourquoi donc le contact de l'eau ne détermine-t-il plus l'exécution de leur mouvement d'évacuation? Il ne me paraît pas douteux que cela ne provienne de l'hydrogène sulfuré (acide hydrosulfurique) dont se trouvent imprégnés ces tubes par le fait de la putréfaction. J'ai fait voir en effet (page 43) que la putréfaction animale arrête l'endosmose, et qu'elle produit cet effet en développant de l'acide hydrosulfurique ; j'ai démontré que cet acide agit dans cette circonstance en intervertissant ou en tendant à intervertir le sens antécédent du courant d'endosmose. Lorsque les liquides animaux sont à l'état frais et qu'ils sont séparés de l'eau par une membrane, le courant d'endosmose est dirigé de l'eau vers le liquide organique animal ; mais lorsque ce dernier a acquis de l'acide hydrosulfurique par la putréfaction, cet acide qui tend à passer par endosmose dans l'eau contrebalance

ainsi la tendance de l'eau à passer par endosmose dans le liquide organique, et il en résulte que l'endosmose se trouve complétement abolie. De là vient, sans aucun doute, que les tubes spermatiques dont le liquide intérieur est putréfié n'offrent plus, lorsqu'on les plonge dans l'eau, le phénomène d'évacuation qu'ils offraient lorsqu'ils étaient dans l'état sain. Ces tubes plongés dans le liquide organique dense qui remplit l'organe qui les contient, n'y manifestent aucun mouvement, parce qu'il n'y a point de différence de densité entre leur liquide intérieur et le liquide qui les environne; dès lors, il n'y a point chez eux d'endosmose.

Les tubes spermatiques des mollusques céphalopodes me semblent offrir une analogie fort remarquable avec les grains de pollen des végétaux. Ces derniers sont composés de deux cellules ou utricules emboîtées l'une dans l'autre; l'utricule intérieure contient le fluide fécondant, fluide dense qui attire par endosmose l'eau extérieure au grain de pollen, et cela avec une force telle que ce grain vésiculeux crève et répand au dehors le liquide qu'il contient. Si ce grain est simplement placé dans de l'air chargé d'eau en dissolution, son utricule intérieure, qui seule est extensible, développe un appendice tubuleux, qui est une extension de sa cavité, sous l'effort lent de dilatation qu'opère l'eau dont se gonfle le liquide qu'elle contient, et il arrive enfin que cet appendice tubuleux se crève à son extrémité et répand au dehors le liquide granuleux qu'il contient. Ce phénomène a été annoncé par Needham, dans le même ouvrage où il a exposé ses observations sur les mouvements des tubes spermatiques du calmar, et ils ont été revus depuis par MM. Amici et Adolphe Brongniart; je les ai également constatés. Or, d'après ce seul exposé, on saisit de suite l'analogie qui existe entre les phénomènes que présentent les grains de pollen et les tubes spermatiques des mollusques céphalopodes. Ces tubes sont composés de même de deux organes utriculaires emboîtés, desquels l'interne seul est extensible et se dilate sous l'effort de l'eau introduite par endosmose dans le liquide dense et granuleux qu'il contient. Par suite de cette dilatation il se crève, et son liquide intérieur est versé au dehors. Ce liquide, on n'en peut guère douter, est le liquide fécondant. Ainsi tout est semblable jusqu'ici entre le grain de pollen et le tube spermatique; il n'y a de particulier chez ce dernier, que le phénomène de l'expulsion complète du tube intérieur hors du tube extérieur; chez le grain de pollen, cette sortie de l'organe utriculaire intérieur n'est que partielle. Il résulte de ce rapprochement de faits, que les tubes spermatiques des mollusques céphalopodes ressemblent, par les phénomènes qu'ils présentent, aux grains de pollen des végétaux, ils en diffèrent seulement par certaines particularités d'organisation. Il me paraît fort probable que ces tubes spermatiques sont produits par une sorte de végétation dans l'intérieur de l'organe qui les contient, et qu'ils s'en détachent à une certaine époque; le long filament par lequel se termine ordinairement l'extrémité de chacun de ces tubes qui correspond au fil contourné en spirale, semble être un débris du pédicule par lequel ce tube spermatique était, dans le principe, lié organiquement avec l'organe qui l'a produit.

XXVIII.

ESSAI

D'UNE NOUVELLE THÉORIE

DE LA VOIX [1].

Le génie, en quelque sorte rival de la nature, a souvent tenté de reproduire les merveilles qu'elle étale à nos yeux; mais, dans cette lutte inégale, l'homme est toujours resté au-dessous de son modèle. Faible imitateur, il doit s'estimer heureux quand, à force de travaux et de soins, il parvient à s'approcher de cette perfection qui semble n'avoir rien coûté à l'auteur des choses. Cette vérité est surtout frappante, quand on jette un coup d'œil sur les moyens que l'art et la nature ont mis en usage pour produire et varier les sons. Si l'homme, en effet, a su créer les instruments de musique les plus ingénieux et les plus diversifiés, il avait reçu auparavant le plus parfait, comme le plus simple de tous, l'organe de la voix.

Non-seulement la voix humaine, surtout quand elle est perfectionnée par l'exercice, a une étendue considérable, mais elle peut saisir avec facilité tous les intervalles entre les tons; elle peut, en outre, imprimer aux sons une foule de modifications particulières, que l'art ne parviendra probablement jamais à imiter.

La théorie de la voix a beaucoup occupé les savants; et cependant nous sommes encore bien loin de posséder une explication satisfaisante des phénomènes qu'elle présente. J'offre dans cet essai quelques idées nouvelles sur cette matière. Mais, avant de les exposer, avant d'examiner les diverses théories de la voix qui ont paru jusqu'à ce jour, il est nécessaire de jeter un coup d'œil sur les différentes manières dont le son peut être produit et varié, et de donner une description sommaire du larynx.

La cause prochaine de la sensation que nous appelons *son*, réside dans les vibrations des molécules de l'air : il n'y a nul doute sur cela parmi les physiciens. Examinons de combien de manières le mouvement de vibration peut être imprimé aux molécules de l'air, nous verrons que ce mouvement se rapporte à trois causes déterminantes différentes [2].

1° Les molécules de l'air peuvent recevoir le mouvement de vibration de la part d'un corps solide : c'est ce que nous remarquons dans l'effet d'une corde ten-

[1] Cet essai, qui est le premier de mes travaux, a été publié en 1806, comme thèse inaugurale; sans doute il n'établit pas d'une manière complète la théorie de la formation de la voix humaine, mais les faits qu'il contient doivent contribuer, je pense, à l'établissement futur de cette théorie.

[2] Cette division des sons en 3 classes a été faite par Euler (*testamen novæ theoriæ musicæ*, cap. 1, § 7.)

due à laquelle on imprime un mouvement de vibration ; d'une cloche dont on excite les frémissements, etc. Les molécules de l'air sont, dans cette circonstance, frappées avec plus ou moins de force, plus ou moins de vitesse, par un corps solide qui leur communique les vibrations dont il est animé. Je nomme les corps sonores de ce genre *corps vibrants*.

2° Le mouvement de vibration peut être imprimé aux molécules de l'air par le choc que l'air lui-même, animé d'un mouvement de masse, produit sur des corps solides et immobiles ; telle est l'origine du son dans le tuyau de la flûte de Pan, ou dans la clef forée, dans la flûte, les flageolets, etc. Je donne à ces instruments le nom général de *tuyaux sonores*.

3° Un gaz comprimé et subitement rendu à son état naturel, ou bien un gaz subitement développé, frappe l'air environnant par son rapide mouvement d'expansion : voilà une troisième cause de vibration dans les molécules de l'air ; c'est la cause du son produit par les armes à feu ; c'est, en général, ce qui arrive dans tous les phénomènes auxquels nous donnons les noms de *détonation*, d'*explosion :* ici l'air en repos est frappé par de l'air en mouvement.

De ces trois manières de produire le son, les deux premières ont seules été employées par l'art et par la nature pour la production des sons comparables ou musicaux. Tous nos instruments de musique sont composés de corps vibrants ou de tuyaux sonores, ce qui forme deux classes distinctes d'instruments. Mais, parmi ceux-ci, il en est quelques-uns qui semblent appartenir également à chacune de ces deux classes ; ce sont les instruments à anche et les cors. Essayons, en considérant isolément ceux de leurs phénomènes qui les rapprochent de l'une ou de l'autre classe, de déterminer celle à laquelle ils appartiennent. Étudions d'abord l'anche séparée du corps de l'instrument.

On sait que tous les corps vibrants déterminent le ton, en vertu de leurs dimensions et de leur force élastique, tandis que les dimensions de la cavité et la force élastique de l'air [1] règlent le ton dans les tuyaux sonores. Or, il est facile de prouver que ce n'est point par le changement de grandeur de sa cavité, mais par le degré de vitesse de ses vibrations que l'anche modifie les tons, et que, par conséquent, elle ne doit point être rangée dans la classe des tuyaux sonores, mais dans celle des corps vibrants.

L'anche est formée de deux lames minces et élastiques séparées par une petite cavité, ou d'une seule lame élastique appliquée sur une pièce immobile et concave. Quand l'air traverse l'intervalle de ces lames, il excite dans celles-ci des vibrations qui sont telles, que le sommet de la lame le plus éloigné de son point fixe décrit autour de ce point des arcs de cercle en sens successivement inverses. On sait qu'une lame élastique, ainsi fixée par l'une de ses extrémités, fait des vibrations d'autant plus rapides, qu'elle est plus courte, et l'expérience apprend également que le ton de l'anche est d'autant plus aigu, que sa lame vibrante est moins longue. Ainsi, les anches du jeu de régale de l'orgue, qu'on peut considérer comme des anches sans tuyau, donnent un ton d'autant plus aigu, qu'on raccourcit davantage leur languette ; chez elles le ton est déterminé, non-seulement par la longueur de la languette, mais aussi par sa force élastique, laquelle dépend de son épaisseur et de l'élasticité du métal qui la forme. Cette force élastique croît encore suivant l'impétuosité du vent, parce que, plus l'air est condensé dans le pied du tuyau, plus il agit avec force pour appliquer la languette sur son anche, ou déterminer son retour vers elle, quand elle en a été écartée : aussi l'impétuosité du souffle augmentée rend-elle le ton plus aigu.

Nous voyons ainsi que l'anche, comme tous les corps vibrants, détermine le ton par le nombre des vibrations qu'exécute sa languette dans un temps donné. Le

[1] Euler, *op. cit.*, cap. 1, § 38.

mouvement de l'air n'est que la cause déterminante de ces vibrations. Ce n'est point parce que l'ouverture de l'anche est petite que le ton est aigu, c'est parce que sa languette courte ou fortement pressée exécute des vibrations rapides. Une preuve de plus de cette assertion, c'est que, si l'on construit une anche de telle façon que sa languette ne puisse vibrer, il n'y aura aucun son de produit, quelque petite que soit rendue l'ouverture, et avec quelque impétuosité que le vent la traverse. Il est donc prouvé que les sons produits par les anches ont la même origine que ceux qui sont produits par les autres corps vibrants; c'est-à-dire qu'ils sont dus aux mouvements communiqués aux molécules de l'air par les vibrations d'un corps solide.

Je range ainsi l'anche dans la classe des corps vibrants, dont elle forme un genre particulier. Les lèvres du joueur de cor forment également un instrument vibrant du genre des anches, mais d'une espèce particulière.

Mais si l'anche est un instrument vibrant simple, on forme un instrument composé en l'appliquant à un tuyau; alors les molécules de l'air, animées par l'anche d'un mouvement de vibration, communiquent ce mouvement à la corde aérienne contenue dans le tuyau, laquelle, ainsi que l'a démontré Euler, détermine le ton, en vertu de sa longueur, de sa grosseur et de sa force élastique. Les haut bois, les cors, et les autres instruments de ce genre sont ainsi des instruments compliqués d'un corps vibrant et d'un tuyau sonore (1).

Les sons qui doivent leur origine aux vibrations d'un corps solide ont un caractère particulier auquel il est facile de les reconnaître, surtout quand ils sont très-graves. L'oreille y distingue des tremblements dus aux petits intervalles qui existent dans le son et qui font qu'un son qui paraît continu n'est, en effet, que l'assemblage de sons courts et rapides qui se succèdent à de très-petits intervalles de temps. Il n'est personne qui ne distingue parfaitement ces intervalles dans les sons donnés par les gros tuyaux à jeu d'anche de l'orgue, par les cordes d'une contre-basse et même dans les tons très-graves de la voix humaine. Quand le son est aigu, il paraît continu, parce que l'oreille ne peut plus percevoir les intervalles des vibrations devenus très-petits. Ces intervalles n'existent point dans le son produit par les tuyaux sonores non compliqués de corps vibrants; il est continu, quelle que soit sa gravité : c'est ce qui fait la *douceur* du son des flûtes.

Cette remarque peut nous conduire à déterminer la classe à laquelle appartient un instrument d'après la *nature* du son qu'il produit : elle nous *donne le droit* d'affirmer par avance que le larynx est un instrument vibrant; car il est facile à l'oreille d'apprécier des frémissements dans les sons très-graves des basses-tailles. Ils sont encore plus sensibles dans la voix des grands quadrupèdes. L'étude du larynx nous dévoilera quelles sont les parties de cet organe qui, par leurs vibrations, donnent naissance à la voix et les moyens que l'homme a à sa disposition pour en varier les tons.

Le larynx est formé par l'assemblage de cinq cartilages mobiles les uns sur les autres. Celui qui sert aux autres de point d'appui, le cricoïde, a une forme annulaire; peu large en devant, il est embrassé par le thyroïde, avec lequel il s'articule sur les côtés. Sa partie postérieure, beaucoup plus élevée que l'antérieure, supporte les aryténoïdes, petits cartilages, de forme pyra-

(1) Euler, après avoir établi la division des instruments de musique en deux grandes classes, telles que je viens de les exposer, parle brièvement des instruments à anche et des trompettes, sans décider dans laquelle de ces classes on doit les placer : il se contente de dire que ces instruments semblent avoir quelque analogie avec les flûtes. Il admet cependant que le son est formé exclusivement par les anches, et que les tubes qui leur sont joints n'ont d'autre effet que de transmettre le son formé à leur embouchure, en le rendant plus intense, de la même manière qu'un porte-voix augmente l'intensité du son vocal (*Op. cit.*, cap. 1, § 45).

midale, articulés d'une manière très-mobile. Le thyroïde, formé de deux plans quadrangulaires réunis à angle en devant, soutient supérieurement l'épiglotte, dont le principal office est de fermer le larynx pendant la déglutition.

La membrane muqueuse qui revêt l'intérieur du larynx forme de chaque côté deux replis qui interceptent entre eux des cavités que l'on a nommées *ventricules du larynx*. Les replis inférieurs fixés en arrière aux pointes antérieures des aryténoïdes comprennent entre eux l'ouverture à laquelle on a donné le nom de *glotte* [1] : elle représente un triangle dont la base est en arrière, et le sommet en devant. Les expériences les plus décisives prouvent que c'est dans cette ouverture que se forment les sons vocaux.

Divers muscles meuvent le larynx en totalité, ou ses différentes parties les unes sur les autres; ces muscles sont :

1° Le thyro-hyoïdien, fixé supérieurement aux branches de l'hyoïde, inférieurement à la face latérale du thyroïde.

2° Le sterno-thyroïdien, fixé inférieurement au sternum, inséré supérieurement au-dessous du précédent. Cette dernière attache se fait sur une ligne oblique de bas en haut. Je démontrerai l'utilité de cette disposition.

3° Le constricteur inférieur du pharynx s'attache à toute l'étendue du bord postérieur du thyroïde, et un peu au bord supérieur de ce cartilage; de là les fibres de chaque côté viennent s'unir par un raphé sur la ligne médiane. Ce muscle a des usages importants dans les fonctions du larynx.

4° Le crico-thyroïdien, fixé en bas au cricoïde, en haut au bord inférieur du thyroïde, a pour usage de fléchir ce dernier en avant, en faisant décrire un arc de cercle à son bord supérieur. L'articulation du thyroïde avec le cricoïde est le centre de ce mouvement.

5° Le crico-aryténoïdien postérieur, fixé à la partie postérieure du cricoïde d'une part, et de l'autre à la partie postérieure externe de l'aryténoïde, dirige celui-ci en arrière et en dehors. Il est dilatateur de la glotte et tenseur de ses lèvres.

6° Le crico-aryténoïdien latéral, fixé d'une part au bord supérieur latéral du cricoïde, se fixe de l'autre part à la base externe de l'aryténoïde qu'il tire en dehors et en avant.

7° Le thyro-aryténoïdien se fixe à l'angle rentrant du thyroïde, dans une étendue de trois à quatres lignes; de là ses fibres toutes parallèles viennent se rendre à la partie externe de la base de l'aryténoïde, comme le muscle précédent, avec lequel il est intimement uni. Ce muscle, en se contractant, tend à amener en devant la partie externe de l'aryténoïde, ce qui ne se peut faire sans que la pointe antérieure de ce cartilage ne se rapproche de son analogue du côté opposé. Par conséquent, il rétrécit la glotte par degrés, jusqu'au contact de ces pointes. Ce muscle est celui de tous qui joue le rôle le plus important dans la formation de la voix.

En enlevant avec précaution la membrane muqueuse qui revêt ce muscle en dedans, on voit qu'il est recouvert d'une aponévrose dont les fibres parallèles sont étendues de l'angle rentrant du thyroïde à la base de l'aryténoïde. Cette aponévrose qui, à ce qui me semble, n'a été bien vue par aucun anatomiste, est fixée en bas au bord supérieur latéral du cricoïde; elle se replie à angle droit en haut, après avoir tapissé l'ouverture de la glotte, et finit sans se fixer, un peu après avoir formé ce repli. C'est celui-ci qu'on a nommé *ligament thyro-aryténoïdien, corde vocale*. Ce n'est, dans le fait, qu'un repli de l'aponévrose, qui n'est pas beaucoup plus épaisse dans cet endroit que dans le reste de son étendue. Les muscles thyro-aryténoïdien et crico-aryténoïdien latéral lui sont immédiatement subjacents, et lui adhèrent fortement. Cette aponévrose, dif-

[1] Plusieurs auteurs ont appelé *glotte* l'ouverture supérieure du larynx : à l'exemple de *Bichat*, je réserve exclusivement ce nom à l'ouverture que j'indique.

férente des aponévroses d'enveloppe, est du genre de celles que la nature a placées sur les parties qui sont exposées à des frottements violents, telles que les aponévroses plantaires et palmaires. Comme celles-ci, l'aponévrose laryngée est intimement adhérente aux parties qui lui sont contiguës.

8° Le dernier muscle, dont il me reste à parler, est l'aryténoïdien qui, étendu entre les aryténoïdes, a pour usage de les rapprocher l'un de l'autre.

Les principaux nerfs du larynx, le laryngé et le récurrent, sont fournis par le nerf vague ou pneumo-gastrique. Dès le temps de Galien on savait que la section des nerfs récurrents occasionne la perte de la voix. Cette expérience a été fréquemment répétée depuis par les physiologistes.

Telle est la structure du larynx. Il nous reste à examiner comment il produit et varie les sons.

Les premiers physiologistes qui voulurent expliquer la formation de la voix durent naturellement comparer l'organe qui la produit aux instruments à vent qu'ils connaissaient. Ainsi, les anciens regardaient le larynx comme un instrument du genre des flûtes. Galien croyait que les longueurs diverses que prend la trachée-artère par l'ascension ou la dépression du larynx, produisaient les différents tons. Cette erreur fut répétée après lui par un grand nombre de physiologistes : cependant Galien n'ignorait pas que la glotte est l'organe principal de la voix. Il admit avec Aristote que le caractère grave ou aigu de la voix dépend de l'ouverture plus ou moins grande de la glotte et du degré de vitesse de l'air qui la traverse.

Dans le seizième siècle, Fabrice d'Aquapendente émit quelques idées nouvelles sur les causes de la variation des tons de la voix humaine. Il admit que les différents tons sont produits par le degré d'ouverture de la glotte, et par les changements de longueur et de largeur du canal vocal, lequel s'allonge, dans les tons graves, par la dépression du larynx, et se raccourcit, dans les tons aigus, par l'ascension de cet organe [1]. Fabrice donna peu de développement à sa théorie, qui a été reproduite de nos jours avec des additions, et sur laquelle je reviendrai.

Au commencement du siècle dernier, Dodart, adoptant une partie des idées des anciens, entreprit de donner une théorie complète de la voix. Dans son Mémoire, inséré parmi ceux de l'Académie des Sciences pour 1700, il admet que le jeu du larynx, dérobé à nos regards par la nature, peut être expliqué par les phénomènes que nous présente le jeu des anches, quoiqu'il dise, avec raison, que la glotte n'est point exactement semblable à ces derniers instruments. Nous savons qu'un musicien peut tirer différents sons d'une anche separée du corps de son instrument, en pressant plus ou moins ses lames avec les lèvres, ce qui diminue son ouverture, et en variant le degré de force et de vitesse de l'air. Dodart admet que ce sont les mêmes causes qui font varier les tons de la voix : « Il ne voit que la « seule ouverture de la glotte, jointe aux « vibrations des lèvres plus ou moins pres- « sées, à proportion qu'elles sont plus « ou moins bandées, qui puisse produire « les tons de la voix (page 408). Il est cer- « tain, dit-il plus loin, que les différentes « ouvertures de la glotte produisent, ou « au moins accompagnent inséparable- « ment différents tons, tant dans les in- « struments à vent naturels, comme la « glotte humaine, que dans les instru- « ments à vent artificiels (page 410). »

L'opinion de Dodart est, que les cavités de la bouche et des narines ne concourent en rien à la détermination des tons. Si le canal vocal s'allonge dans les tons graves, et devient plus court dans les tons aigus, c'est uniquement pour favoriser le ton en s'y proportionnant.

Dodart, dans son premier Mémoire, ne s'était point occupé des moyens que la nature avait dû employer pour opérer simultanément le rétrécissement de la glotte et la tension de ses lèvres ; ce fut l'objet de ses recherches dans son Mé-

[1] *De larynge vocis organo*, part. 3. cap. 11.

moire de 1706. Il vit, en étudiant le larynx, que les muscles qui raccourcissent les lèvres de la glotte les relâchent, et que ceux qui les tendent les allongent, de sorte que ces deux effets doivent se compenser et se détruire mutuellement. Il en conclut que les muscles, tant extérieurs qu'intrinsèques du larynx, ne sont point les agents des mouvements qu'exécute la glotte, mais qu'il y a quelque autre partie inconnue et soumise à la volonté qui exécute ces mouvements. Il crut le trouver, cet organe de mouvement, dans le ligament que contiennent les lèvres de la glotte. Il le regarda comme un muscle d'une nature particulière, soumis à la volonté et seul agent du rétrécissement de la glotte. Il suffit de connaître la nature de cette partie, pour sentir toute la fausseté de cette assertion.

Enfin, dans un dernier Mémoire donné à l'Académie des Sciences en 1707, Dodart assimile la glotte à l'ouverture que forment les lèvres dans l'action de siffler, il donne à celle-ci le nom de *glotte labiale*. Il prétend que dans ces deux glottes les tons sont déterminés par les mêmes causes, qui sont, la quantité et la vitesse de l'air sonnant lancé dans l'air dormant. La méprise de Dodart est ici évidente : il assimile deux instruments qui sont d'une classe différente. En effet, la bouche forme, dans l'action de siffler, un instrument du genre des sifflets; l'air est brisé sur le bord tranchant des dents, et transmis par le canal plus ou moins large et plus ou moins allongé que forment les lèvres, qui, très-certainement, ne vibrent pas dans cette circonstance comme le prétend Dodart; les sons du larynx, au contraire, sont manifestement accompagnés des vibrations des lèvres de la glotte.

Il faut distinguer deux choses dans la théorie de Dodart : 1° l'analogie qu'il établit entre l'organe de la voix et certains instruments; 2° la manière dont il explique la production des sons, tant dans le larynx que dans les instruments auxquels il le compare.

Dodart compare l'organe vocal à une anche. S'il se fût contenté d'établir cette analogie, sa théorie eût été inattaquable; mais elle n'eût pas été complète. Il a donc voulu aller plus loin, et il a prétendu expliquer la manière dont le son est produit et varié par les anches et par le larynx. C'est ici qu'il a erré; mais son erreur ne tombe pas spécialement sur la théorie de la voix; elle s'étend sur celle de tous les instruments à anche. Au reste, ce que j'ai dit précédemment des anches s'applique naturellement ici pour démontrer que la petitesse de l'ouverture de la glotte ne détermine point l'acuité des tons, quoiqu'elle l'accompagne nécessairement, et que l'air n'a plus de vitesse dans cette circonstance, que parce qu'il lui faut plus de force pour exciter les vibrations de parties qui sont plus tendues.

La théorie de Dodart fut universellement adoptée, jusqu'à Ferrein, qui, en 1741, osa avancer le paradoxe singulier que le larynx est moins un instrument à vent qu'un instrument à cordes; il ôta à la glotte le titre d'*organe de la voix*, pour en revêtir les lèvres de cette ouverture, auxquelles il donna le nom de *cordes vocales*. Il admit que ces cordes vibrent, sous l'impulsion de l'air, de la même manière que les cordes d'une viole vibrent sous l'impulsion de l'archet. Il fit ainsi du larynx un instrument à la fois à vent et à cordes.

Dans ses expériences, qu'il répéta devant l'Académie des sciences, sur des larynx d'hommes et d'animaux séparés du corps, il démontra que cet organe rend des sons semblables à ceux qu'il produit pendant la vie lorsque après avoir tendu les lèvres de la glotte, on y fait passer de l'air avec une certaine vitesse. Il fit voir à la loupe, et même à l'œil nu, que ces lèvres étaient animées de vibrations plus ou moins rapides pendant la production des sons.

Ferrein regarde les ligaments contenus dans les lèvres de la glotte comme les seules parties dont les vibrations produisent les sons. C'est à ces seuls ligaments qu'il donne le nom de *cordes vocales*. Il rapporte une suite d'expériences par lesquelles il démontre que ces cordes, fixées dans leur milieu, de manière que leurs moitiés puissent vibrer séparément, font entendre

l'octave au-dessus du ton qu'elles rendent quand elles vibrent dans leur entier. Elles donnent la quinte, la tierce au-dessus de ce dernier ton, suivant qu'on ne permet les vibrations que des 2/3 ou des 4/5 de leur longueur.

La même chose a lieu en fixant entièrement une des lèvres de la glotte de façon que l'autre puisse vibrer seule.

Fixant l'une des cordes vocales dans sa moitié, et laissant l'autre libre, on entend deux sons à l'octave l'un de l'autre.

Toutes ces expériences réussissent encore en enlevant la portion du larynx qui est au-dessus de la glotte; ce qui prouve que c'est dans cette ouverture seule que se forment les sons et leurs modifications, relativement au caractère de grave ou d'aigu, et que le canal qui la surmonte n'y a aucune part.

Ferrein a vu que les divers tons correspondent à des degrés de tension différents, mais il n'a rien donné d'exact sur cet article.

Enfin, il a vu qu'à une tension déterminée, les cordes vocales donnaient toujours le même ton, soit que l'ouverture de la glotte fût grande ou petite, soit que le vent fût fort ou faible, l'intensité du son était seule changée par ces modifications.

On voit par ces expériences que l'on peut, par deux moyens différents, augmenter l'acuité des sons rendus par les cordes vocales: 1° en diminuant leur longueur; 2° en augmentant leur tension. Ferrein pense que, la diminution de longueur des cordes vocales ne pouvant avoir lieu pendant la vie, la distension de ces cordes est le seul moyen que la nature ait mis en usage pour remplir toute l'étendue de la voix humaine. Cette distension, qui croît comme l'acuité des tons, est opérée par le renversement en arrière des aryténoïdes, et le mouvement circulaire en avant du thyroïde; elle doit, dans son plus haut degré, allonger les cordes vocales d'environ trois lignes. Les tons graves, au contraire, naissent du relâchement de ces cordes. Les divers degrés de vitesse de l'air et de rétrécissement de la glotte n'influent sur les tons en aucune manière; ils règlent seulement l'intensité de la voix.

Ferrein a établi le premier, et prouvé, par des expériences, que les sons rendus par le larynx sont dus uniquement aux vibrations des lèvres de la glotte, et qu'ils sont indépendants du degré d'ouverture de celle-ci. Voilà ce qui lui appartient incontestablement; mais tout le reste était connu depuis longtemps, quoiqu'il affecte de le nier. Il prétend qu'avant lui on n'avait jamais comparé le larynx qu'aux flûtes, aux flageolets, et aux jeux à biseau de l'orgue. Cela est évidemment faux. On vient de voir, par l'exposé de la théorie de Dodart, que ce savant comparait le larynx aux jeux d'anches, et qu'il admettait que les divers tons rendus par la glotte dépendent en partie du degré de tension de ses lèvres. Près d'un demi-siècle avant ce dernier, Perrault avait dit: « Pour ce « qui est du ton de la voix, il est bas et « grave, quand la glotte fait une fente « bien longue; car alors la longueur de l'une « et de l'autre membrane qui composent « la glotte, rendant chaque membrane « lâche et peu tendue, leurs ondoyements « sont rares et lents... Le ton aigu se fait « par des causes opposées [1].

Nous voyons ainsi qu'avant Ferrein on ne doutait point des vibrations totales des lèvres de la glotte, vibrations dont cependant il s'attribue l'idée. Fondé sur l'existence de ces vibrations, et sur ce que les variations des tons suivent les changements de longueur et de force élastique des lèvres de la glotte, il décide que les ligaments que contiennent celles-ci sont des cordes sonores. Il suffit de connaître la structure et les connexions de cette partie, pour sentir combien cette assertion est fausse. Si Ferrein eût étudié le mécanisme des anches, il eût vu que les tons qui naissent de leurs vibrations varient également, suivant qu'on change la longueur de leurs lames ou leur force élastique. Il eût donc été forcé de convenir que les lèvres de la glotte ont plus d'analogie avec les lames d'une anche qu'avec des cordes sonores; il eût fallu

(1) Traité du bruit, chap. 12.

qu'abandonnant son opinion paradoxale, il se bornât à corriger et perfectionner la théorie de Dodart. Je ne sais s'il a senti la difficulté, mais il l'a éludée en la passant sous silence, car il n'est pas question une seule fois des anches dans toute l'étendue de son Mémoire.

J'ai répété le plus grand nombre des expériences de Ferrein, et j'ai obtenu les mêmes résultats que lui, hormis dans quelques cas où ces expériences ne m'ont pas réussi. Je remarquerai que jamais je n'ai pu obtenir de tons graves des larynx humains soumis à mes expériences; ils étaient muets quand la tension était faible. Toute l'étendue des tons que j'ai pu obtenir par une tension graduée, n'a jamais pu s'élever qu'un peu au-dessus d'une octave complète; encore, dans les tons plus aigus, les lèvres de la glotte étaient dans un état de tension tel, que le mouvement le plus rapide de l'air pouvait à peine les faire vibrer, et les aryténoïdes étaient renversés en arrière, bien au-delà de ce que peuvent exécuter les muscles crico-aryténoïdiens postérieurs.

Ferrein n'ayant rien donné d'exact sur les variations qu'apportent dans les tons les différents degrés de tension des lèvres de la glotte, j'ai tenté de suppléer à son silence, et j'ai fait, dans cette vue, des expériences qui m'ont appris que, pour obtenir de la glotte deux sons à l'octave l'un de l'autre, il fallait tendre ses lèvres par des poids qui fussent entre eux comme 1 est à 8. Le poids 1 donnant le ton le plus grave, le poids 2 donnait à peu près la quarte, et le poids 4 donnait environ la sixième au-dessus de ce ton. Quelque singulier que paraisse ce phénomène au premier coup-d'œil, je crois qu'il est possible d'en rendre raison, en considérant que toutes les parties qui s'étendent du thyroïde aux aryténoïdes participent à la tension, sans participer toutes à la production des sons; les replis supérieurs des ventricules, par exemple, sont fortement tendus; il y a donc une grande partie de la force tensive qui se trouve perdue. D'ailleurs, la tension allonge les lèvres de la glotte, ce qui détruit en partie son effet.

Ces diverses observations me paraissent de fortes objections contre la vérité de la théorie de *Ferrein*; j'y joins la réflexion suivante :

Si la seule tension des cordes vocales déterminait les tons indépendamment du degré d'ouverture de la glotte, il est clair que le ton le plus aigu devrait correspondre à ce degré d'ouverture de la glotte qui favoriserait le plus la tension de ses lèvres. Or, les fibres des muscles crico-aryténoïdiens postérieurs étant obliques de bas en haut, et de dedans en dehors, elles agissent perpendiculairement à la direction des lèvres de la glotte, quand celle-ci est le plus ouverte possible; par conséquent, c'est alors que ces muscles ont le plus de force pour tendre les cordes vocales. A mesure que la glotte diminue d'ouverture par la contraction du muscle aryténoïdien, cette force devient d'autant moindre, que les fibres des muscles tenseurs deviennent alors de plus en plus obliques à la direction des lèvres qu'elles tendent. Il suit donc naturellement de là, que, suivant la théorie de Ferrein, les tons les plus aigus doivent correspondre à l'ouverture la plus grande de la glotte, ce qui est évidemment faux. La petite quantité d'air qui passe par cette ouverture dans la production des tons aigus, opposée à la masse considérable de ce fluide qui la traverse dans la production des tons graves, prouve incontestablement que la glotte est rétrécie dans le premier cas, et élargie dans le second.

Enfin, il paraît que Ferrein n'a pu trouver la cause de l'ascension du larynx dans les tons aigus et de son abaissement dans les tons graves, car il ne parle point de ce phénomène si connu.

La théorie de la voix, imparfaitement ébauchée, il y a plus de deux siècles, par Fabrice d'Aquapendente, a été reproduite dernièrement, mais avec des changements qui en font une théorie nouvelle, par l'un de nos plus célèbres naturalistes, par M. Cuvier [1]. Auteur d'une théorie de la

[1] Traité d'anatomie comparée, tome IV, p. 445.

voix des oiseaux, ce savant a pensé que sa théorie pouvait s'appliquer aussi à la voix de l'homme et des mammifères. Rejetant entièrement l'idée des *cordes vocales*, il regarde l'organe de la voix comme un instrument du genre des cors, dans lesquels le ton est déterminé par la longueur du tube, la tension et l'ouverture des lèvres, la force et la vitesse de l'air.

Ainsi, il assimile la glotte à l'ouverture plus ou moins grande des lèvres du joueur de cor, et le tube de ce dernier instrument est représenté par le canal vocal qui s'étend de la glotte à la double ouverture de la bouche et des narines. Le larynx, par ses différents degrés d'élévation ou d'abaissement, produit différentes longueurs du canal vocal; ces longueurs déterminent les divers tons fondamentaux que l'homme peut prendre, et la glotte, par sa tension et son ouverture, les divers tons harmoniques du ton fondamental de chaque longueur. Ainsi, quoique la longueur du canal vocal ne puisse, à beaucoup près, diminuer de moitié, la voix humaine peut néanmoins s'élever à bien plus d'une octave, parce que quelques tons fondamentaux suffisent pour donner de nombreux harmoniques. Cette étendue peut être encore augmentée par les changements de diamètre du canal vocal, et par l'occlusion plus ou moins complète de sa dernière issue extérieure. Ce dernier moyen est analogue à ce que pratiquent les joueurs de cor, qui, pour baisser le ton de leur instrument, bouchent en partie son pavillon avec la main; mais cet abaissement est borné, dans le cor, à un ton, ou, à peu près, ce que M. Cuvier attribue à ce qu'on ne peut fermer l'ouverture de cet instrument sans en raccourcir le tube. On sait que, dans les tuyaux à jeu de biseau de l'orgue, on fait baisser le ton d'une octave entière, en bouchant complétement leur dernière issue; il baisse d'une quantité moindre en ne la bouchant que partiellement, comme cela s'observe dans les tuyaux qu'on nomme *à cheminée*.

M. Cuvier a expérimenté que l'on pouvait ainsi parcourir tous les tons d'une octave descendante, en bouchant de plus en plus la dernière issue d'une flûte à bec sans trous latéraux. Il a appliqué cette observation à la théorie de la voix des oiseaux, et il pense que l'ouverture plus ou moins grande que forment les lèvres de l'homme peut influer de même sur les tons de sa voix.

En comparant ainsi le double canal vocal de l'homme au tube d'un instrument à vent, M. Cuvier ne s'est pas dissimulé les difficultés qu'offre sa théorie : « Mais, « dit-il, en considérant, non-seulement « la dissimilitude de ces deux cavités avec « tous les instruments qui nous sont con- « nus, mais encore les moyens presque « infinis que nous avons d'en changer la « longueur, le diamètre, la figure et les « issues, moyens qu'il est presque impos- « sible de déterminer assez exactement « pour en tirer des conséquences physi- « ques, on ne s'étonnera pas des difficul- « tés que présente la théorie de notre « organe vocal [1]. »

Il faut sans doute avoir des raisons bien plausibles pour se permettre d'attaquer les opinions de l'homme célèbre auquel est due cette théorie. On sera peu étonné que je l'aie entrepris, quand on saura que M. Cuvier a pris soin d'indiquer lui-même les plus fortes objections qui s'élèvent contre son système. Elle n'appartient qu'à un homme supérieur, cette franchise si rare parmi les savants qui n'ont pas toujours mis assez de bonne foi dans la recherche de la vérité pour exposer sans détour les faits contraires à leurs opinions; trop souvent même ces faits ont été altérés, quand ils n'ont pas été passés sous silence.

Voici les objections que l'on peut faire à M. Cuvier; elles sont de la plus grande force :

1° Si les diverses longueurs du canal vocal déterminaient les tons fondamentaux et leurs harmoniques, on verrait le larynx tantôt monter, tantôt descendre, en parcourant l'échelle diatonique, car

[1] Ouvrage cité, p. 453.

un ton harmonique aigu aurait souvent pour générateur un ton qui exigerait un grand abaissement du larynx; cet organe donnerait un ton fondamental et tous ses harmoniques, sans changer de position, comme le cor les donne sans changer de longueur : rien de tout cela n'arrive. Le larynx monte continuellement et graduellement pendant qu'on parcourt la gamme, de sorte que chaque ton et partie de ton correspond à une longueur différente du canal vocal.

2° La longueur du canal vocal n'est jamais en rapport avec les tons qu'elle accompagne, car l'observation apprend que, pour parcourir tous les tons que contiennent deux octaves, le larynx monte d'un pouce, ce qui ne raccourcit le canal vocal que d'environ $\frac{1}{5}$; or, ce raccourcissement devrait donner seulement la tierce majeure au-dessus du ton le plus grave, tandis que, par le fait, l'organe vocal donne la double octave, et l'on ne peut pas dire que ce dernier ton soit un harmonique de sa double octave grave, car le larynx n'eût pas changé de position pour le produire.

3° Si les changements de diamètre et de configuration des diverses parties de la bouche, si l'ouverture plus ou moins grande des lèvres pouvaient changer les tons, le chant articulé serait extrêmement difficile, et peut-être impossible. On ne pourrait, en effet, faire coïncider un ton déterminé avec la prononciation de toutes les voyelles, sans changer la position du larynx, car on sait que les modifications de la voix, que nous nommons *voyelles*, dépendent des divers changements de figure et de grandeur de la cavité de la bouche et de son ouverture extérieure : or, on peut s'assurer que le larynx donne constamment le même ton, sans changer de place, quelles que soient la configuration de la bouche et l'ouverture des lèvres.

4° On peut alternativement fermer complétement ou la bouche ou les narines, sans faire autre chose que rendre le son plus sourd, ce qui n'aurait pas lieu si le ton était déterminé par la longueur du double canal vocal. Pour m'en assurer, j'ai adapté une anche à un tuyau bifurqué : le ton a baissé considérablement quand j'ai bouché l'extrémité de l'une quelconque des branches de ce tuyau.

5° Si les tons dépendaient de la longueur du tube vocal, on acquerrait la facilité de rendre des tons plus graves, en ajoutant un tuyau à l'ouverture de la bouche et en bouchant en même temps les narines : c'est ce qui n'a point lieu; l'intensité seule de la voix est changée par cette addition.

6° Enfin, Bichat a prouvé, par des expériences sur des animaux vivants, que les sons vocaux ne changent pas sensiblement de caractère en cessant de traverser le double canal de la bouche et des narines [1]. Je ne citerai pas à mon appui les expériences de Ferrein, car dans celles qui me sont propres je n'ai obtenu des larynx séparés du corps que des sons qu'il eût été difficile de reconnaître pour ceux de la voix humaine.

Les conclusions rigoureuses que l'on peut tirer de tout cela, sont : que les tons rendus par le larynx ne sont point les uns des tons fondamentaux, les autres des tons harmoniques, et que ces tons ne sont point déterminés par les diverses longueurs du canal vocal, non plus que par ses changements de diamètre, ni par l'occlusion plus ou moins complète de ses issues extérieures.

Les trois théories que je viens d'exposer, différentes dans presque tous les points, s'accordent cependant toutes pour admettre des vibrations dans les lèvres de la glotte; c'est le seul point sur lequel il ne puisse y avoir de difficulté. Ces vibrations sont prouvées par les expériences de Ferrein, comme elles le sont par la nature même du son et par la sensation de frémissement que nous éprouvons en rendant des tons graves.

Le larynx est donc un instrument vibrant; et, comme l'ensemble des preuves que je viens de rapporter démontre que

(1) Traité d'anatomie descriptive, t. II, p. 403.

les dimensions du canal vocal n'influent point sur les tons, il en résulte que l'organe vocal est un instrument vibrant non compliqué d'un tuyau, et que, par conséquent, les tons sont produits uniquement par le larynx. Cherchons donc à découvrir les moyens que la nature a mis en œuvre pour donner à cet organe la faculté de produire des tons aussi variés.

Expliquer la formation et les variations de la voix suivant les lois connues de la production et de la variation des sons, en tenant compte de tous les phénomènes que présente le larynx en action, tel est le problème qui reste à résoudre. On vient de voir que jusqu'ici aucun physiologiste n'en a donné une solution complète.

La voix, comme tous les sons, présente trois qualités différentes : 1° le ton qui dépend du nombre des vibrations dans un temps donné ; 2° l'intensité, qui dépend de l'étendue de ces vibrations ; 3° le timbre qui tient à la nature, à la forme particulière du corps sonore.

Les tons de la voix dépendent uniquement des changements survenus dans la partie vibrante du larynx. Son intensité reconnaît deux causes : 1° le degré de la force qui détermine les vibrations : cette force est égale au produit de la masse par la vitesse de l'air expiré ; 2° la forme plus ou moins évasée du canal vocal, lequel, faisant office de porte-voix, agit, suivant sa configuration, en augmentant ou en diminuant l'intensité du son vocal. Pour le timbre de la voix, il tient à des causes, pour la plupart, indéterminées ; mais il dépend, en partie, du larynx, et en partie de la forme du canal vocal, car on doit regarder les modifications du son que nous nommons *voyelles* comme des changements de timbre d'une nature, il est vrai, toute particulière.

Avant de nous occuper de la partie du larynx dont les vibrations donnent naissance à la voix, il est indispensable de jeter un coup d'œil sur les diverses causes qui font varier les tons. Nous prendrons les cordes pour exemple, parce que ce sont les corps vibrants que l'on a le plus étudiés.

On sait, par l'expérience, que le ton produit par les cordes sonores varie suivant leur longueur et leur grosseur ; il varie également suivant leur force élastique, qui peut être distinguée en celle qui leur est communiquée et en celle qui leur est propre. On peut communiquer de l'élasticité aux cordes de deux manières : 1° en les distendant ; 2° en provoquant leur raccourcissement, quand leurs extrémités sont fixées d'une manière invariable. Ainsi les cordes à boyau *montent quand elles* sont humides, parce que l'humidité les raccourcit : l'effet est alors le même que si elles étaient plus tendues, mais la cause est différente et doit être distinguée.

La force élastique propre des cordes dépend de l'élasticité de la matière qui les forme. L'élasticité paraît généralement proportionnelle à la dureté [1] ; celle-ci peut donc être regardée comme la mesure de la première. Or, toutes choses égales d'ailleurs, les cordes faites des métaux les plus durs sont celles qui donnent les tons les plus aigus. Cela est également vrai pour les autres corps vibrants ; ainsi le ton d'une anche d'orgue, d'un timbre, etc., varie, non-seulement suivant les dimensions de ces instruments, mais aussi suivant le degré d'élasticité du métal qui les forme.

Je vais faire l'application de ces notions à la partie vibrante du larynx, qu'il s'agit actuellement de déterminer. Je prends l'analogie pour guide dans cette recherche.

Les vibrations des lèvres sont, dans le jeu du cor, la cause première des sons. Quel est l'organe actif de ces vibrations? Ce n'est certainement pas la peau des lèvres : loin d'être tendue, elle est alors molle et plissée. Il est évident que ce sont les deux moitiés du muscle orbiculaire des lèvres qui vibrent alors : elles entraînent dans leurs vibrations les téguments qui les recouvrent et qui ne sont que passifs dans cette conjoncture. Les deux parties de ce muscle, tirées en dehors par les muscles

---

[1] *Haüy*, Traité élémentaire de Physique, t. 1, p. 54 et suiv.

zygomatiques, et se contractant en même temps, acquièrent un degré de tension qui les rend propres à opérer des vibrations plus ou moins rapides. En même temps, les lèvres s'appliquent l'une contre l'autre dans une étendue plus ou moins grande, ce qui donne une longueur variable à leur partie vibrante. Fondé sur cette observation et guidé par l'analogie, je pense que ce sont les muscles thyro-aryténoïdiens et non les membranes aponévrotiques qui les recouvrent, qui sont les parties vibrantes du larynx humain. Les aponévroses laryngées n'ont d'autre usage que de garantir les muscles qu'elles recouvrent des collisions trop fortes qu'ils auraient éprouvées s'ils eussent vibré l'un contre l'autre, dépourvus de cette enveloppe. Voyons donc quelles sont les conditions particulières qui peuvent mettre les muscles thyro-aryténoïdiens en état d'exécuter des vibrations plus ou moins rapides. Ces conditions sont les mêmes que pour les autres corps vibrants, c'est-à-dire, les dimensions, la force élastique et la densité. On va voir comment la nature a multiplié les moyens pour varier ces conditions.

Les muscles thyro-aryténoïdiens peuvent diminuer de longueur en se contractant, cela est évident; mais cette diminution est bornee, parce que les aryténoïdes ne peuvent que peu s'éloigner ou se rapprocher du thyroïde; il doit donc exister un autre moyen de raccourcissement, et le voici :

On a vu précédemment que les muscles thyro-aryténoïdiens s'étendent de la base des aryténoïdes à l'angle rentrant du thyroïde; ils forment ainsi entre eux un angle plus aigu que celui qui est formé par les deux plans du thyroïde, entre lesquels ces muscles se trouvent compris. Or, que doit-il résulter de leur contraction, eu égard à leur position? Il est clair que ne pouvant se contracter sans augmenter en épaisseur, et rencontrant en devant les parois du thyroïde qui s'opposent à leur développement en dehors, tout l'effort de ce développement se portera en dedans, et il en résultera l'application, l'une contre l'autre, des lèvres de la glotte dans sa partie antérieure, et par conséquent le raccourcissement d'avant en arrière de la partie libre des muscles vibrants. Il est clair encore que l'angle du thyroïde étant plus grand que l'angle de la glotte, et le développement des muscles en grosseur étant proportionnel à leur force de contraction; il est clair, dis-je, qu'une plus forte contraction des thyro-aryténoïdiens oblitérera une plus grande étendue de la glotte, et qu'une faible contraction n'oblitérera que sa partie antérieure. Ceci explique parfaitement les usages du thyroïde, et rend raison de la forme angulaire de ce cartilage; car la nature, même dans la configuration de nos parties, n'a rien fait au hasard et sans but d'utilité. Il est facile de concevoir que, plus l'angle thyroïdien sera aigu, plus il comprimera les muscles thyro-aryténoïdiens, et plus, par conséquent, ces muscles, par leur développement en grosseur, auront de facilité pour oblitérer une plus grande étendue de la glotte. Or, l'angle thyroïdien peut être rendu plus aigu par la contraction du constricteur inférieur du pharynx combinée avec celle du thyro-hyoïdien. Le constricteur inférieur s'attache à toute la longueur des bords postérieurs du thyroïde; les fibres de ce muscle, dirigées en dedans et en haut, viennent s'unir par un raphé sur la ligne médiane; ce muscle, en se contractant, doit par conséquent rapprocher l'un de l'autre les deux plans du thyroïde; et comme son attache fixe est à l'apophyse basilaire de l'occipital, il est clair qu'il ne peut se contracter sans élever le larynx. Plus cet organe sera élevé, moins l'action des fibres du constricteur inférieur sera oblique, plus, par conséquent, elle sera énergique. Aussi tous les muscles élévateurs du larynx agissent-ils concurremment avec ce dernier; et même les branches de l'hyoïde étant fléchies en dedans par le constricteur moyen, le thyro-hyoïdien, qui y prend son insertion, peut, en se contractant, exercer sur le thyroïde une pression latérale qui favorise la flexion de ce cartilage.

La flexion du thyroïde est rendue plus facile par l'échancrure qui se trouve à la

partie supérieure de son angle. Elle a pour effet de diminuer la résistance à la flexion, puisqu'elle diminue l'étendue du bord dans lequel se passe ce mouvement. Aussi cette échancrure est-elle plus profonde chez l'homme adulte que chez la femme et les enfants, afin de compenser la dureté et la roideur plus grandes qu'ont les cartilages du premier. Le thyroïde est mou et très-flexible chez la femme et les enfants. C'est à cette flexibilité que doit en partie être attribuée l'étendue plus grande de leur voix dans le haut. A la puberté, les cartilages du larynx, comme toutes les autres parties, prennent plus de solidité spécialement chez les hommes, et cela concourt avec les changements de dimension du larynx à produire la mue de la voix; par les progrès de l'âge, les cartilages du larynx s'ossifient, et le thyroïde perd entièrement sa flexibilité. Aussi les vieillards n'ont-ils plus la faculté de produire des tons élevés, quoique, dans les efforts qu'ils font pour les donner, leur larynx monte aussi haut qu'il le faisait auparavant.

Ainsi, le larynx monte dans la production des tons aigus comme il le fait dans la déglutition; ce n'est qu'un phénomène accessoire, quoique nécessairement lié à son action. On peut s'assurer de l'influence qu'a la flexion du thyroïde sur la production des tons aigus, en le comprimant latéralement avec les doigts pendant qu'on rend un ton quelconque. L'effet de cette compression, qui diminue l'angle thyroïdien, est constamment de hausser le ton, et même, lorsqu'on est parvenu aux tons les plus élevés que l'on puisse donner, on acquiert la possibilité de monter un peu plus haut par le moyen de cette compression artificielle.

Le larynx, pour donner des tons graves, ne retourne pas simplement à sa position naturelle, il est fortement tiré en bas. Cette traction, opérée par le sterno-thyroïdien, a pour but de rendre plus obtus l'angle du thyroïde. Il suffit de considérer la disposition de ce cartilage et l'insertion du sterno-thyroïdien, pour être convaincu de cette vérité. Ce muscle s'insère au milieu de la face latérale du thyroïde; et, comme je l'ai fait remarquer, cette insertion est oblique de bas en haut. Il est à remarquer également que les côtés du thyroïde présentent chacun un plan incliné de haut en bas et de dehors en dedans, de sorte que le bord supérieur de chacune des ailes de ce cartilage est plus externe et plus antérieur que le bord inférieur. Le sterno-thyroïdien, agissant ainsi dans une direction oblique au plan auquel il s'attache, doit avoir pour effet d'augmenter l'obliquité de ce plan, et par conséquent, d'augmenter l'angle thyroïdien. On conçoit que, plus l'attache de ce muscle sera élevée, plus il aura de force pour ouvrir les plans du thyroïde, puisqu'il agit sur un levier dont la longueur est représentée par la distance de son point d'attache à l'angle inférieur du thyroïde qui a son point fixe sur le cricoïde. Cette fixité de la partie inférieure du thyroïde fait qu'elle ne participe que peu aux mouvements de flexion et d'extension qui se passent presque en entier dans la partie supérieure du cartilage, et surtout dans l'angle postérieur supérieur de chacun de ses deux plans ou ailes; aussi est-ce vers cet angle que se dirige l'insertion oblique du sterno-thyroïdien. Cette obliquité est d'autant plus favorable à l'ouverture de l'angle du thyroïde, qu'elle produit le même effet que si ce muscle avait effectivement une insertion plus élevée, et qu'elle le dirige vers la partie la plus mobile du cartilage. Le seul effet de la contraction du sterno-thyroïdien serait d'abaisser le thyroïde sans influer sur l'ouverture de son angle, si l'attache de ce muscle se faisait au bord inférieur du plan thyroïdien, comme je l'ai observé dans le bœuf, ou si son insertion, quoique très-élevée, se faisait plus antérieurement que celle du thyro-hyoïdien et dans le voisinage de la ligne médiane, comme je l'ai observé dans le larynx du porc.

On peut se convaincre de l'influence qu'a l'ouverture de l'angle thyroïdien sur la production des tons graves, en appuyant plus ou moins fortement sur la crête de cet angle; ce qui doit nécessairement le

rendre plus obtus. L'effet de cette pression est toujours de rendre le ton plus grave qu'il n'était, et même elle donne la facilité de descendre un peu plus bas qu'on ne le peut faire naturellement. Au contraire, la compression latérale du thyroïde ôte la faculté de donner des tons très-graves, quoique le larynx descende aussi bas que possible.

Le changement de longueur de la partie libre des thyro-aryténoïdiens n'est pas le seul effet qui résulte du changement d'ouverture de l'angle du thyroïde, il est facile de voir qu'il doit aussi résulter un changement dans la tension de ces muscles. Pour peu qu'on ait quelque teinture de géométrie, on sent que, plus on diminue la base d'un triangle isocèle, en rapprochant l'un de l'autre les deux côtés, dont la longueur est égale et toujours la même, plus on augmente la hauteur de ce même triangle, et *vice versâ;* par conséquent, les thyro-aryténoïdiens, étendus du sommet à la base d'un triangle dont les côtés, représentés par les ailes du thyroïde, ont une longueur fixe, doivent être distendus quand l'angle thyroïdien est rendu plus aigu, et relâchés, au contraire, quand ce même angle est rendu plus obtus. La tension opérée par ce moyen est très-bornée; aussi n'est-il pas le seul.

Les thyro-aryténoïdiens peuvent être tendus par le renversement en arrière des aryténoïdes. Il n'est pas moins évident que le mouvement en avant du thyroïde doit produire le même effet. L'observation qui prouve le mouvement de ce dernier est due à Ferrein. Si l'on met le doigt sur l'intervalle qui sépare le thyroïde du cricoïde pendant qu'on parcourt l'échelle diatonique, on sent cet espace diminuer dans les tons aigus, et s'agrandir dans les tons graves; ce qui prouve que le thyroïde s'éloigne des aryténoïdes dans le premier cas, et s'en rapproche dans le second.

J'ai déjà exposé trois moyens de tension: il en existe un quatrième analogue à ce que produit l'humidité sur les cordes à boyau, c'est le raccourcissement ou la contraction des thyro-aryténoïdiens, les cartilages auxquels ils s'attachent étant rendus fixes. Il est indubitable que, plus ces muscles se contracteront, plus ils acquerront de tension, plus, par conséquent, ils donneront un ton aigu. Que l'on se rappelle ici que l'effet de la contraction des thyro-aryténoïdiens est de diminuer l'ouverture de la glotte, et l'on comprendra pourquoi celle-ci est rétrécie dans les tons aigus, et élargie dans les tons graves; c'est une suite nécessaire du degré de contraction des muscles vibrants. Ce rétrécissement de la glotte, en présentant à l'air une issue plus petite, doit augmenter son impétuosité et sa force; ce qui était nécessaire pour que l'impulsion de ce fluide pût déterminer les vibrations de parties qui sont plus tendues; ainsi la force motrice croît comme la résistance au mouvement.

La contraction des thyro-aryténoïdiens a encore un effet important, c'est d'augmenter leur élasticité propre: plus un muscle est contracté, plus il oppose de résistance aux puissances qui tendent à l'allonger, plus, par conséquent, il a de force pour revenir à sa position quand il a été déplacé; or, cette dernière force est l'élasticité. Elle croît donc comme la contraction du muscle, et, ce qui est remarquable, comme sa dureté; car on sait que c'est la propriété des muscles de devenir d'autant plus durs, que leur contraction est plus forte. Le changement de force de contraction des thyro-aryténoïdiens a donc un effet analogue à ce que produit dans nos instruments l'emploi de cordes faites de métaux de duretés différentes; mais ce qui n'a point d'analogue dans les ouvrages de l'art, c'est l'existence de corps vibrants susceptibles de varier à volonté en dureté. Il n'appartenait qu'à la nature d'opérer cette merveille; c'est ce qu'elle a fait en appliquant à la production des sons des organes musculaires qui deviennent d'autant plus durs et plus élastiques qu'ils sont plus fortement contractés.

Enfin, les thyro-aryténoïdiens peuvent diminuer de grosseur, en ne contractant qu'une portion de leurs fibres. Cette contraction partielle n'est point prouvée, et n'est point susceptible de l'être; mais on

n'aura aucune répugnance à l'admettre, en songeant qu'on admet généralement que les muscles thyro-aryténoïdien et crico-aryténoïdien latéral peuvent se contracter isolément, quoiqu'il n'y ait aucune ligne de séparation entre eux : aux yeux de l'observateur, ces deux muscles n'en font évidemment qu'un seul. Si l'anatomie en a fait deux, c'est parce qu'ils peuvent être considérés isolément sous le rapport de leur action. On conçoit, sans plus de peine, que les fibres toutes parallèles des thyro-aryténoïdiens peuvent se contracter isolément, par exemple, les supérieures sans les inférieures, pour la production des tons aigus. Le muscle entier doit entrer en action dans les tons graves, dont la production, qui embarrassait Ferrein, cesse d'être un problème, quand on considère le volume du thyro-aryténoïdien dans l'homme adulte.

En récapitulant les causes qui font varier les tons produits par le larynx, nous voyons que ces causes sont :

1° Le raccourcissement des thyro-aryténoïdiens par la contraction de ces muscles.

2° Le raccourcissement des thyro-aryténoïdiens par l'oblitération de la partie antérieure de la glotte [1].

3° La tension de ces muscles, résultat de la diminution de l'angle du thyroïde.

4° Leur tension opérée par le renversement en arrière des aryténoïdes.

5° Leur tension opérée par le renversement en avant du thyroïde.

6° Leur tension, résultat de leur raccourcissement, les cartilages auxquels ils s'attachent étant rendus fixes.

7° L'augmentation de dureté des thyro-aryténoïdiens.

8° La diminution de grosseur de ces muscles par leur contraction partielle.

Ce qui forme huit moyens qui sont très-bornés, quand on les considère isolément, mais dont la réunion ou les différentes combinaisons ont pour avantage de nécessiter l'emploi de fort peu de chacun d'eux pour produire de grands changements dans les tons.

Le larynx réunit ainsi toutes les conditions nécessaires pour donner le plus de tons possible avec des dimensions très-bornées.

Telle est la théorie que j'ai puisée dans l'étude attentive du larynx. Je n'ai point cherché à lui donner des preuves par des expériences faites sur des animaux vivants ; le larynx de l'homme m'a paru trop différent de celui des autres mammifères, pour pouvoir conclure de ce qui se passe chez ces derniers à ce qui a lieu chez le premier. Je n'entreprendrai point d'exposer ici les imperfections nombreuses que présente l'organe vocal des quadrupèdes, étudié comparativement avec celui de l'homme ; il me suffit de faire observer que, chez les animaux, les thyro-aryténoïdiens ne sont pas toujours les organes immédiats de la voix. Souvent ils ne sont pas, comme chez l'homme, employés exclusivement à former les parois de la glotte ; plus souvent encore ils sont recouverts de parties si épaisses, qu'ils ne peuvent que difficilement participer aux vibrations. Chez l'homme, au contraire, les thyro-aryténoïdiens sont presque à nu en dedans, ou ne sont recouverts que de membranes incapables, par leur peu d'épaisseur, de nuire à leurs vibrations, quoique assez fortes pour leur former une enveloppe solide. Chez les quadrupèdes, ces membranes sont ordinairement très-développées, et forment des saillies considérables dans l'intérieur du larynx. Il est indubitable que ce sont ces membranes, plutôt que les thyro-aryténoïdiens, qui produisent, par leurs vibrations, les sons rauques et peu variés de la voix des quadrupèdes. Certainement, ainsi que l'a re-

[1] Le fait de l'oblitération de la partie antérieure de l'ouverture de la glotte dans la production des tons aigus, fait que j'avais déduit de l'observation de la structure du larynx, a été depuis démontré par les expériences que M. Magendie a faites sur des chiens dans le but de voir le mécanisme du larynx dans la production des sons.

marqué Vicq-d'Azyr [1], la perfection de la voix de l'homme est, en grande partie, le fruit de son industrie; mais on ne peut nier qu'elle ne soit également le résultat de la perfection de son organisation. La voix des quadrupèdes est très-bornée; ce qui s'accorde avec l'imperfection de leur organe vocal. Cependant, en ne leur accordant point la possibilité d'égaler la perfection de la voix humaine, la nature ne paraît pas leur avoir refusé à tous la faculté de varier un peu les intonations de leur voix; s'ils ne le font pas, c'est parce que, selon la judicieuse remarque de M. Cuvier [2], l'instinct détermine et borne l'usage que l'animal fait de ses facultés. L'homme seul, guidé par un flambeau bien supérieur à l'instinct, non content d'employer toutes les facultés qui lui ont été départies, sait les perfectionner, et souvent parvient à étendre considérablement leur sphère [3].

[1] Mémoires de l'Académie royale des sciences, 1779, p. 181.

[2] Leçons d'anatomie comparée, tome IV, p. 482.

[3] Je n'ai point dû faire mention des recherches qui ont été faites sur la voix humaine depuis la première publication de cet essai; j'ai voulu seulement reproduire ici mon travail sur cette matière.

APPENDICE.

Quoique les deux mémoires suivants ne se rattachent point directement au titre général de ce recueil, j'ai dû néanmoins les insérer ici. Le premier, par le sujet qu'il traite, tient de fort près à la physiologie végétale; j'ai eu occasion de citer deux fois le second dans ce recueil, savoir : dans mon VIII[e] Mémoire (page 219) et dans mon XXVI[e] Mémoire (page 505); il était donc nécessaire que le lecteur pût le consulter.

I.

COMMENT AGIT LA DIASTASE POUR DÉTERMINER LA RUPTURE DES TÉGUMENTS DES GRAINS DE FÉCULE [1].

L'enveloppe tégumentaire des grains de fécule est rompue et la substance [2] que contiennent ces grains est mise en liberté par l'action de plusieurs agents. Le plus généralement employé de ces agents est l'eau échauffée à la température de l'ébullition. Lorsque la quantité de ce liquide est assez considérable pour que la substance qu'il dissout ne forme point un liquide pâteux, on voit qu'en se refroidissant, il laisse précipiter, non-seulement les téguments insolubles de la fécule, mais aussi une très-grande quantité de la substance qui était dissoute à chaud. La quantité de cette substance qui reste dissoute dans le liquide refroidi est si petite qu'à peine son adjonction augmente-t-elle sensiblement la densité de l'eau. J'ai trouvé que cette densité de l'eau froide, aussi chargée qu'elle peut l'être de la substance soluble de la fécule, n'était que de 1,002, la densité de l'eau pure étant 1. Lorsque la quantité de cette substance dissoute dans l'eau chaude est plus considérable, elle se prend en gelée par le refroidissement. Cette gelée est le résultat d'une véritable précipitation de la substance soluble de la fécule, substance qui reste suspendue dans le liquide, lequel cesse de mériter ce nom; c'est ce qu'on appelle de l'*empois*. Ainsi la substance intérieure de la fécule, indéfiniment soluble dans l'eau bouillante, l'est très-peu dans l'eau froide.

On peut penser avec raison que l'eau bouillante détermine la rupture des téguments des grains de la fécule en amollissant ces téguments et en dilatant par la chaleur la substance qu'ils renferment. On doit ajouter à ces causes de rupture l'endosmose qui ne peut manquer d'être très-énergique à raison de la grande

[1] Ce Mémoire a été lu à l'Académie des Sciences dans sa séance du 2 déc. 1833; il a été publié dans les Annales des Sciences naturelles, t. xxx, p. 354.

[2] Les chimistes n'étant point encore d'accord sur la composition de la fécule, et par conséquent sur le nombre comme sur le nom des substances qu'elle contient, je m'abstiens d'adopter ici aucun de ces noms.

densité de la substance liquéfiée que renferment les grains de fécule baignés extérieurement par l'eau chaude. L'endosmose introduit l'eau dans ces petites vésicules qui deviennent ainsi extrêmement turgescentes et qui finissent par se rompre. Alors leur liquide organique intérieur se mêle à l'eau environnante avec laquelle il forme l'*empois*. Il peut arriver et il arrive, en effet, quelquefois que, dans le cas dont il s'agit, les téguments des grains de fécule paraissent ne point se rompre sous l'effort de la distension que leur fait éprouver leur liquide intérieur augmenté de volume par l'endosmose, et cependant ce liquide intérieur ne laisse pas de sortir de la cavité des grains de fécule pour se mêler à l'eau environnante qui le dissout. Il paraît que, dans cette circonstance, le liquide intérieur de chaque grain de fécule, sans cesse augmenté de volume par l'adjonction de l'eau qu'introduit l'endosmose et soumis, par conséquent, à une forte pression, filtre au travers d'ouvertures imperceptibles, sans rompre le tégument du grain de fécule d'une manière apparente, et qu'il se déverse ainsi dans l'eau environnante.

L'acte de la germination produit dans les graines des céréales une substance particulière à laquelle MM. Persoz et Payen qui l'ont découverte ont donné le nom de *diastase*. Cette substance, sans pouvoir en aucune manière être considérée comme un menstrue chimique, opère cependant la dissolution de la fécule avec une grande rapidité. La manière dont la diastase agit pour opérer ce phénomène me paraît facile à déterminer. La diastase ne dissout point les téguments de la fécule. Ce fait est prouvé par l'expérience, car l'action très-prolongée de la diastase sur les téguments de la fécule séparés préalablement ne leur fait éprouver aucune perte en poids. Ce n'est point, par conséquent, en attaquant ces téguments qu'elle occasionne leur rupture. Il faut donc ici recourir exclusivement à l'action de la diastase sur la substance intérieure de la fécule. J'ai dit plus haut que cette dernière est très-peu soluble dans l'eau froide. Or, l'accession d'une quantité excessivement petite de diastase, 0,0005 par exemple, donne rapidement à cette substance une extrême solubilité dans l'eau froide et tend en même temps à la convertir en sucre. Le mode de cette action chimique est inconnu; mais le fait qu'elle dévoile est d'une grande importance, non-seulement en chimie, mais aussi en physiologie. Il est évident que c'est à cette augmentation de solubilité de la substance intérieure de la fécule qu'il faut rapporter alors la rupture des téguments qui la renferment. En raison de sa solubilité acquise, cette substance forme avec l'eau un liquide très-dense; elle exerce, par conséquent, une endosmose très-énergique, et, en raison de cela, elle fait crever rapidement les téguments délicats des grains de fécule. Pour vérifier cette théorie, j'ai expérimenté comparativement la force d'endosmose de l'eau froide aussi chargée de substance soluble de la fécule qu'elle peut l'être par l'action préalable de l'ébullition, et la force d'endosmose de l'eau froide chargée d'une certaine quantité de cette même substance modifiée et rendue soluble par la diastase. Le premier de ces liquides dont la densité était de 1,002 ne produisit pas la plus légère endosmose; le second, où l'eau chargée de substance intérieure de la fécule modifiée par la diastase qui lui avait été ajoutée dans la proportion de $\frac{1}{14}$ de son poids, et dont la densité était 1,006, produisit une endosmose qui, comparée à celle de l'eau sucrée de la même densité, se trouva avec elle dans le rapport de sept à neuf. En employant une solution de cette même substance dont la densité était 1,015, j'obtins une endosmose qui, comparée à celle de l'eau sucrée de même densité, se trouva avec elle dans le rapport de cinq à six. Cette différence dans les deux expériences provient probablement de ce que dans les deux solutions l'action de la diastase avait produit plus de sucre dans l'une que dans l'autre. Toujours résulte-t-il de ces expériences que la substance intérieure de la fécule modifiée et rendue soluble par la diastase possède un pouvoir d'endosmose

peu inférieur à celui que possède l'eau sucrée. Or, j'ai fait voir (page 34) que le sucre est de toutes les substances végétales celle qui possède le plus grand pouvoir d'endosmose. La substance intérieure de la fécule modifiée par la diastase s'en rapproche sous ce point de vue; son pouvoir d'endosmose est bien supérieur à celui de la gomme qui, d'après mes expériences, est à peu près inférieur de moitié à celui du sucre. Ainsi, il n'est point douteux que la substance contenue dans les grains de fécule ne produise une endosmose énergique lorsqu'elle a été modifiée par l'action de la diastase. Alors les téguments des grains de fécule, de plus en plus distendus par l'introduction de l'eau extérieure, finissent par se rompre. Cet effet a lieu dans l'eau froide comme dans l'eau chauffée jusqu'à 75 degrés centigrades, mais seulement avec plus de lenteur. On sait qu'à une plus haute température, la diastase se décompose. Lorsque les grains de fécule n'ont point subi l'action de la diastase, la substance qu'ils renferment étant ou insoluble ou très-peu soluble dans l'eau froide, il n'y a point d'endosmose de produite; ces grains, par conséquent, ne sont point déterminés à se crever; ils conservent leur intégrité.

On voit ainsi que la séparation de la substance intérieure de la fécule de ses téguments sous l'influence de la diastase est le résultat d'une succession de phénomènes. La diastase agit sur cette substance intérieure comme agent d'une modification de composition qui augmente sa solubilité dans l'eau; en vertu de cette modification, cette substance acquiert un grand pouvoir d'endosmose. Cette dernière action physique produit l'entrée de l'eau dans la vésicule tégumentaire du grain de fécule et la rend turgescente avec un excès tel qu'elle se crève. Cette rupture étant faite, la séparation de la substance intérieure de ses téguments s'opère par la seule action dissolvante de l'eau environnante. Ainsi la diastase n'agit point directement en séparant la substance intérieure de la fécule de ses enveloppes, comme l'étymologie de son nom l'indique. Il eût été plus convenable de donner à ce nouvel agent chimique un nom dont la signification étymologique eût indiqué qu'il changeait la nature chimique de la substance peu insoluble sur laquelle il agissait et qu'il lui donnait ainsi une grande solubilité. Toutefois ce nom étant imposé doit être conservé, mais sans aucun égard à sa signification. La science offre bien d'autres exemples de désaccord entre les objets et les noms relativement à la signification étymologique de ces derniers, et cependant on les conserve. La découverte de la diastase aura une haute portée en physiologie. C'est un phénomène de chimie organique bien digne d'être médité que celui du changement rapide de nature et d'augmentation de solubilité qui est produit dans une substance organique par l'accession de quelques atomes d'une autre substance organique qui n'est ni acide ni alcaline. Ce fait prouve que lorsque des substances organiques éprouvent une dissolution ou plutôt une liquéfaction, on ne doit pas toujours attribuer ce phénomène à l'action d'un menstrue chimique. Il peut être produit par un agent qu'on pourrait nommer *diastasique*, c'est-à-dire à la fois transformateur et liquéfacteur sans être menstrue. Le phénomène de la digestion recevra certainement une lumière inattendue de la découverte de ce nouvel ordre de faits dans la chimie organique. Il est bien probable, en effet, que le suc gastrique est pour les substances organiques alimentaires une sorte de *diastase* qui produit la transformation et occasionne la solution des substances organiques alimentaires. Toutes les substances organiques animales et végétales sont composées de globules agglomérés, et ces globules qui sont vésiculaires comme les grains de fécule ont besoin d'être crevés pour livrer à l'alimentation les substances qu'ils renferment. Il y aurait ainsi plusieurs espèces de *diastases gastriques*, en rapport avec le genre d'alimentation des animaux.

La liquéfaction des substances alimentaires dans l'acte de la digestion offre des phénomènes qu'il est impossible d'expli-

quer par l'action des menstrues chimiques. Ainsi, par exemple, on sait avec quelle facilité les os les plus durs, même lorsqu'ils sont avalés entiers ou en gros fragments, sont liquéfiés dans l'estomac des chiens. Cette liquéfaction est le résultat de la solution de la gélatine qui réunit les molécules du phosphate calcaire. L'os est alors converti en bouillie mieux qu'il ne le serait par l'action de l'eau chauffée à une haute température dans la marmite de Papin. Cet effet surprenant ne peut évidemment être attribué à l'action d'un menstrue chimique. Admettons, au lieu de cela, l'existence d'une diastase gastrique dont l'accession occasionne la transformation de la gélatine et lui donne une grande solubilité, et le phénomène dont il vient d'être question s'explique sans difficulté. L'os ingéré dans l'estomac du chien sera promptement liquéfié et la gélatine se sera transformée en un autre liquide organique; ce sera l'acte de la digestion stomacale.

Chez les graines des végétaux pendant leur germination, il se forme de la diastase qui rend soluble dans l'eau froide la substance intérieure des grains de fécule, et qui commence à la transformer en sucre. Cette opération naturelle de chimie organique, qui fait que la fécule devient susceptible de livrer ses éléments nutritifs à l'absorption opérée par la plante naissante, peut, à mon avis, être considérée comme une sorte de *digestion végétale* qui sera analogue à la digestion animale, si, comme je le pense, la théorie que j'ai indiquée plus haut relativement à la digestion des animaux est fondée.

II.

EXPÉRIENCES

SUR LA CIRCULATION DES LIQUIDES DANS LES TUBES DE VERRE VERTICAUX [1].

Lorsque l'attention des physiologistes se porta, il y a quelques années, sur le phénomène de circulation, découvert depuis longtemps par Corti dans les *Chara*, un physicien ingénieux, M. le Baillif, imagina de donner une idée de cette circulation au moyen d'une expérience de physique, dont l'idée première paraît appartenir au comte de Rumford.

Un liquide contenu dans un vase dont deux côtés opposés sont inégalement échauffés, prend dans ce vase un mouvement circulatoire; il monte du côté qui est le plus échauffé, et il descend du côté qui l'est le moins. C'est ce qui a lieu, par exemple, dans l'eau contenue dans un vase placé latéralement auprès du feu. Si l'on a un tube de verre rempli d'eau et placé verticalement, et qu'on approche un corps chaud de l'un de ses côtés, l'eau prendra dans ce tube un mouvement circulatoire. Rendue plus légère par la chaleur, elle montera du côté du corps chaud, et elle descendra du côté opposé. Ce mouvement sera rendu sensible par les corps légers que l'eau tiendra en suspension. Or, il est d'expérience qu'un tube vertical rempli d'eau qui tient en suspension des corps légers, manifeste un mouvement de circulation lorsqu'il est placé dans un appartement dont l'air paraît cependant également échauffé dans toutes ses parties. C'est cette circulation que M. le Baillif présentait plutôt comme une image que comme une explication de la circulation qui existe dans les *Chara*. Il se servait pour cela d'un tube de verre contenant de l'alcool dans lequel étaient suspendues des molécules impalpables de liége râpé. Il paraît que la cause de la circulation dont il est ici question, était considérée comme problématique, et que rien ne prouvait qu'elle pût être rapportée à l'action de la chaleur, puisque M. Raspail, vers le même temps, présenta quelques-uns de ces tubes à l'Académie des sciences et à la Société philomatique, comme des objets curieux, et sans déterminer la cause des phénomènes qu'ils présentaient. Il publia ses observations à cet égard dans les *Annales des Sciences d'observation* (juin 1829), et il se servit de ce phénomène inexpliqué

[1] Ce Mémoire a été lu à l'Académie des Sciences dans sa séance du 23 novembre 1829.

pour rendre raison de la circulation des *Chara*. Curieux de savoir à quelle cause était due la circulation observée dans le liquide que contenaient des tubes de verre établis dans un appartement dont la température paraît être partout la même, je m'appliquai à l'étude de ce phénomène. Je cherchai d'abord quels étaient les corps légers qui pouvaient rester longtemps suspendus dans l'eau sans se précipiter. Les molécules ligneuses impalpables ne restent suspendues dans l'eau qu'autant qu'elle est en mouvement ; dès qu'elle est dans un parfait repos, elles se précipitent ; il en est de même des molécules terreuses, etc. Il me fallait avoir des molécules opaques qui, par leur légèreté spécifique, pussent rester suspendues dans l'eau, lorsqu'elle est sans mouvement, sans tendre ni à se précipiter ni à surnager. J'ai trouvé ce que je cherchais à cet égard en employant le lait. Une seule goutte de ce liquide ajoutée à six et même à dix onces d'eau que l'on agite, suffit, par ses globules dispersés, pour rendre apercevable à la loupe tout mouvement de cette eau mise dans un tube de verre. Ces globules restent suspendus dans l'eau sans tendre à se précipiter pendant plusieurs jours, en sorte qu'il est facile de faire des observations suivies avec cette eau chargée de corps légers en suspension, et que l'on peut considérer comme de l'eau pure. Ayant rempli avec cette eau un tube de verre de six pouces de longueur et de six lignes de diamètre, je le plaçai verticalement non loin d'une fenêtre fermée et éclairée seulement par la lumière diffuse. Je vis l'eau qu'il contenait circuler en montant d'un côté et en descendant du côté opposé. Je ne tardai pas à m'apercevoir que la circulation changeait de direction, suivant les variations de la température extérieure. Lorsque la température de l'appartement était supérieure à celle du dehors, le courant ascendant était dans le tube du côté du fond de l'appartement, et le courant descendant du côté de la fenêtre ; l'inverse avait lieu lorsque la température de l'appartement était inférieure à celle du dehors. Ainsi il me fut démontré que la circulation dont il s'agit était produite par le faible courant de chaleur qui existait dans l'air de l'appartement, et qui était dirigé, au travers de la fenêtre fermée, du dedans au dehors, ou du dehors au dedans. Les tubes remplis d'eau dont on voit la circulation à l'aide des corps légers que cette eau tient en suspension, sont donc des instruments propres à faire découvrir la direction des faibles courants de chaleur qui existent dans l'air ambiant. Pour me servir d'une expression qui évite une circonlocution, je désignerai ces tubes sous le nom de thermoroscopes [1], mot qui signifie que ces tubes sont des instruments indicateurs du sens dans lequel s'opère l'écoulement de la chaleur.

Le mouvement circulatoire qui a lieu dans le liquide du thermoroscope n'est point égal dans tous les points du tube ; il est plus rapide dans le fond que dans la partie supérieure. Le courant descendant présente un mouvement accéléré, en sorte que ce mouvement de descente, assez lent dans la partie supérieure, acquiert graduellement plus de rapidité à mesure qu'on l'observe dans une partie plus inférieure. Le courant ascendant offre au contraire un décroissement graduel de vitesse du bas en haut, en sorte que ce mouvement d'ascension, rapide dans la partie inférieure, devient plus lent dans la partie supérieure. Ainsi, en observant le mouvement de descente et le mouvement d'ascension à la même hauteur, on les voit constamment égaux ; mais en les observant à des hauteurs différentes, on voit le mouvement de descente graduellement accéléré, et le mouvement d'ascension graduellement retardé.

La chaleur, dont l'inégalité légère aux deux côtés opposés du thermoroscope produit la circulation du liquide, agit d'une manière très-marquée par le degré général de son élévation sur cette circulation. Ainsi j'ai observé que lorsque la température générale est au-dessous de

---

[1] Mot dérivé de θερμὸς, *chaleur* ; de ῥόος, *écoulement* ; et de σκοπέω, *je découvre*.

+ 10 degrés R., il n'y a plus de circulation dans un tube rempli d'eau pure. C'est en vain qu'il existe alors un puissant courant de transmission de température, il n'agit en aucune manière sur le liquide du thermoroscope pour provoquer sa circulation. Ainsi j'ai vu que cette dernière n'existait point dans des thermoroscopes situés près d'une fenêtre dans un appartement dont la température était à + 5 degrés, lorsque la température du dehors était à — 10 degrés. Il y avait alors 15 degrés de différence entre la température de l'appartement et la température du dehors; le courant de transmission de la température du dedans au dehors devait être bien intense, et cependant il était sans action sur le liquide contenu dans le thermoroscope. Lorsque la température générale est supérieure à + 15 degrés, il suffit d'un quart de degré de différence entre la température de l'appartement et celle du dehors pour que le courant de chaleur qui résulte de cette inégalité provoque une circulation dans le thermoroscope. Ainsi l'absence de la circulation lorsque la température est au-dessous de + 10 degrés, tient évidemment à ce que les molécules du liquide étant fort rapprochées par la perte d'une partie du calorique qui les écartait les unes des autres, elles sont alors soumises à une attraction réciproque plus forte, ce qui leur donne une *force d'inertie* à l'aide de laquelle elles résistent davantage au mouvement que le courant de la chaleur tend à leur imprimer. En effet, si l'on détruit momentanément cette *force d'inertie* au moyen d'une légère agitation du liquide, la circulation s'établit dans le sens du courant de la chaleur, et dure pendant quelque temps, ce qui prouve que le courant de la chaleur exerce alors son action sur les molécules du liquide pour les déterminer à se mouvoir. L'ébranlement des molécules du liquide est donc une condition préalable nécessaire pour que ces molécules soient mises en mouvement par le courant de la chaleur, lorsque ce courant est trop faible pour opérer à lui seul ce mouvement. Un thermoroscope dont le liquide est à la température de + 5 degrés R., non-seulement ne présente plus de circulation sous l'influence des courants de la chaleur qui existent dans l'atmosphère, mais les rayons mêmes du soleil le frappent vainement pendant quelques minutes; ils n'y produisent point de circulation, ce n'est que lorsque leur action prolongée a suffisamment augmenté la température du liquide que celui-ci circule. Ce même liquide, cependant, lorsqu'il possède une température supérieure à + 15 degrés, présente une circulation dont la rapidité devient très-considérable à l'instant même qu'il est frappé par les rayons solaires.

Ces faits prouvent que la mobilité moléculaire de l'eau est beaucoup plus grande quand elle est échauffée, que lorsqu'elle est refroidie, ce qui avait déjà été prouvé d'une autre manière par les expériences de M. Girard sur l'écoulement des *liquides* par les tubes capillaires. Ces *faits* prouvent en même temps, ce me semble, que le mouvement de la chaleur dans les corps est d'autant plus facile que ces corps possèdent une température plus élevée.

L'eau qui tient en solution des substances acides, alcalines ou salines, offre plus de mobilité moléculaire que l'eau pure, car les circonstances extérieures étant les mêmes, elle circule beaucoup plus vite. C'est ce dont je me suis assuré en mettant en expérience les uns à côté des autres des tubes semblables qui contenaient les uns de l'eau pure, les autres, de l'eau avec addition d'une petite quantité d'acide, d'alcali, ou d'un sel quelconque. Lorsque la température générale n'avait point assez d'intensité pour déterminer la circulation de l'eau pure, l'eau acide, alcaline ou saline circulait très-bien. L'eau pure cesse de circuler lorsque la température générale est à + 10 degrés R. L'eau acide, alcaline ou saline circule à des degrés inférieurs et variables de température générale. J'ai vu l'eau acidulée circuler très-bien, la température générale étant à + 5 degrés, tandis que l'eau pure d'un thermoroscope contigu était complétement immobile. Ainsi il est certain que l'eau à

laquelle on ajoute un acide, un alcali ou un sel, éprouve, par cette addition, une augmentation de mobilité moléculaire qui rend ses molécules susceptibles d'obéir à des causes de mouvement qui, dans les mêmes circonstances, n'agissent point pour mouvoir les molécules de l'eau pure.

La pression exercée par la pesanteur d'une colonne de liquide sur les molécules de ce même liquide qui occupent la partie inférieure est un obstacle à leur mobilité. Celles de ces molécules qui sont à la partie supérieure étant les moins pressées, obéiront par cela même avec plus de facilité aux causes qui tendront à les mouvoir. Ainsi, j'ai expérimenté qu'un tube vertical long de trois pieds étant rempli d'eau la circulation ne pénétrait qu'à environ deux pieds de profondeur, encore avant d'arriver jusque-là éprouvait-elle une diminution graduelle de vitesse jusqu'à ce que son mouvement cessât tout à fait de pénétrer plus avant.

J'avais remarqué plusieurs fois que le matin la circulation du thermoroscope était beaucoup plus lente que lorsque la lumière était devenue plus intense, et cela quoique la température n'eût pas varié. Cela me fit soupçonner que la lumière avait une influence sur ce mouvement circulatoire. Pour m'en assurer, j'établis auprès d'une fenêtre éclairée par la seule lumière diffuse, deux thermoroscopes dont la circulation s'établit sur-le-champ. Alors je couvris un de ces tubes avec un récipient de carton, et l'autre avec un récipient de verre. Au bout de 20 minutes, je trouvai la circulation complétement suspendue dans le tube couvert avec le récipient opaque; elle se rétablit moins d'une minute après le retour de la lumière. Quant au tube qui avait été couvert avec le récipient de verre, il ne cessa point de présenter la circulation, seulement ce mouvement se trouva un peu diminué de vitesse. Ces expériences, qui semblaient établir bien décidément l'influence de la lumière sur la circulation du liquide contenu dans dans le thermoroscope, n'étaient cependant point au-dessus de toute objection. Le carton est moins facilement perméable à la chaleur que le verre, il serait donc possible que le courant de la chaleur alors existant dans l'appartement eût continué à s'effectuer au travers des parois du récipient de verre, et eût été arrêté par les parois du récipient de carton, en sorte que ce serait encore ici l'absence du courant de la chaleur, et non l'absence de la lumière, qui aurait amené la suspension de la circulation. Cette manière de voir semble même étayée par le fait de la diminution de vitesse de la circulation dans le tube que recouvrait le récipient de verre. Ce récipient, en effet, opposait aussi un obstacle quelconque à la transmission du courant de la chaleur; la diminution de ce courant dans l'intérieur du récipient avait diminué la vitesse de la circulation; si l'obstacle eût été plus grand, la circulation eût été suspendue tout à fait. Ainsi, en supposant que l'absence de la lumière eût véritablement une influence sur la suspension de ce phénomène circulatoire, il fallait admettre que cette suspension était en même temps l'effet de la diminution du courant de la chaleur auquel le thermoroscope était soumis. Afin d'apprécier ce qui pouvait être dû à la lumière dans cette circonstance, il était nécessaire d'étudier son influence dans des circonstances où le courant de la chaleur ne variait pas du tout. Un thermoroscope étant donc placé près d'une fenêtre fermée et éclairée par la seule lumière diffuse, j'observai la circulation jusqu'au soir. Le lendemain, dès la naissance du jour, je retournai à l'observation du thermoroscope, et je trouvai la circulation complétement suspendue. Le ciel était alors couvert de nuages, ce qui contribuait à diminuer l'intensité de la lumière naissante. Je notai le degré de la température dans l'intérieur de l'appartement et le degré inférieur de la température au dehors. Trois quarts d'heure après, la lumière ayant augmenté d'intensité, la circulation commença à s'établir d'une manière lente. Cependant la température intérieure et la température extérieure n'avaient point varié; par conséquent, le courant de la chaleur qui se portait du

dedans de l'appartement au dehors était toujours le même. Quelques heures après, la circulation était devenue très-rapide, ce qui coïncidait avec l'augmentation considérable de l'intensité de la lumière. Cependant la température extérieure avait augmenté, tandis que la température intérieure était demeurée la même; par conséquent, le courant de la chaleur toujours dirigé du dedans au dehors, avait perdu une partie de son intensité, ce qui devait être une cause de diminution de rapidité de la circulation. Or cette rapidité de la circulation était, au contraire, augmentée; donc cette augmentation était due à l'intensité augmentée de la lumière. Pendant la nuit, le courant de la chaleur dirigé du dedans au dehors existait; il agissait sans obstacle sur le thermoroscope, et cependant la circulation n'existait pas. Je m'en assurai en éclairant instantanément le thermoroscope avec la lumière d'une bougie; donc la suspension de cette circulation était due à l'absence de la lumière. Peut-être pourrait-on penser que dans cette circonstance, la lumière, même lorsqu'elle est diffuse, agit en échauffant le côté du tube qu'elle frappe, et facilite ainsi la circulation du liquide qu'il contient. Cette objection tombe d'elle-même devant l'observation qui fait voir que le matin, lorsque la circulation recommence, après le repos de la nuit, le courant ascendant est toujours situé du côté opposé à celui qui est frappé par la lumière, et cela parce que l'air de l'appartement est alors plus échauffé que l'air extérieur.

L'absence de la lumière diffuse ne produit la suspension de la circulation du thermoroscope que lorsque cet instrument est rempli d'eau pure. Cette suspension n'a point lieu lorsque l'eau contient un acide, un alcali ou un sel. Cette suspension n'a point lieu non plus lorsque la température excède + 15 degrés. Cela provient de ce que l'eau qui contient un acide, un alcali ou un sel en solution, possède une mobilité moléculaire supérieure à celle de l'eau pure et suffisante pour que sa circulation existe sans avoir besoin de l'influence de la lumière, et malgré que la température soit inférieure à + 10 degrés. Lorsque la température générale est supérieure à + 15 degrés R., l'eau pure acquiert également une mobilité moléculaire suffisante pour circuler sans avoir besoin de l'influence de la lumière diffuse. Ainsi au-dessous de + 10 degrés R., l'eau pure ne circule point dans le thermoroscope par l'effet des faibles courants de chaleur tels qu'ils existent ordinairement dans l'air d'un appartement. De + 10 degrés à + 15 degrés, l'eau pure circule le jour et cesse de circuler la nuit. Il paraît que l'action de la lumière diffuse donne à l'eau une augmentation de mobilité moléculaire qu'elle perd dans l'absence de cet agent. Enfin au-dessus de + 15 degrés, l'eau, en vertu de l'élévation de sa température, possède assez de mobilité moléculaire pour circuler continuellement dans le thermoroscope soumis aux plus faibles courants de chaleur.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.



MÉMOIRES

POUR SERVIR A L'HISTOIRE

ANATOMIQUE ET PHYSIOLOGIQUE

DES VÉGÉTAUX

ET

DES ANIMAUX.

MÉMOIRES

POUR SERVIR A L'HISTOIRE

ANATOMIQUE ET PHYSIOLOGIQUE

DES VÉGÉTAUX

ET

DES ANIMAUX,

PAR M. H. DUTROCHET,

MEMBRE DE L'INSTITUT (Académie royale des Sciences) ET DE LA LÉGION D'HONNEUR.

Je considère comme non avenu tout ce que j'ai publié précédemment sur ces matières et qui ne se trouve point reproduit dans cette collection. (10 mai 1837.)

AVANT-PROPOS.

ATLAS.

BRUXELLES.

MELINE, CANS ET COMPAGNIE.

IMPRIMERIE, LIBRAIRIE ET FONDERIE.

—

1837

EXPLICATION

DES PLANCHES.

PLANCHE 1.

Fig. 1.—Endosmomètre composé d'un réservoir dont l'ouverture inférieure *a b* est fermée par un morceau de vessie, et dont l'ouverture supérieure est fermée avec un bouchon *c*, lequel est traversé par un tube de verre fixé à une planchette graduée *pp*.

Fig. 2. — Deux entonnoirs de verre *a c*, lutés l'un à l'autre par leurs ouvertures évasées, et ayant leurs cavités séparées l'une de l'autre par un diaphragme de vessie. Le tube *d* de l'entonnoir inférieur est plongé dans un vase *g*. Cet appareil est établi pour une certaine expérience d'endosmose.

Fig. 3.—Endosmomètre à tube recourbé pour mesurer la force de l'endosmose. *a*, réservoir fermé avec la vessie *oo* et plongé dans l'eau d'un vase *h*; *b*, ouverture supérieure de l'endosmomètre dont le bouchon est maintenu avec un coin; *c d*, branche ascendante du tube de l'endosmomètre fixée sur une planche graduée.

Les figures 4 et 5 sont établies pour servir à des démonstrations qui se trouvent dans le texte.

PLANCHE 2.

Fig. 1. — Trachée en partie déroulée. Le déroulement a lieu par la séparation en deux de la lame opaque. La membrane diaphane intermédiaire aux spires de cette lame opaque demeure intacte.

Fig. 2. — Terminaison d'une trachée en spirale conique.

Fig. 3. — Trachée ayant des globules fixés sur sa surface.

Fig. 4. — Fausse trachée de la vigne.

Fig. 5. — A, tubes fibreux de la vigne; B, tubes fibreux du *ruscus aculeatus*.

Fig. 6, 7, 8. — Coupes transversales faites sur des jeunes tiges de *clematis vitalba*.

Fig. 9. — Coupe transversale de la racine de l'*echium vulgare*.

Fig. 10. — Fragment d'une jeune branche de l'orme à liége; *b b b*, liége disposé en saillies anguleuses; *a*, portion de la branche qui n'a point produit de liége.

PLANCHE 3.

Fig. 1. — Coupe verticale de l'aiguillon du rosier. *f*, tissu fibreux de l'écorce; *m*, médulle corticale.

Fig. 2. —Aiguillon du *zanthoxylum juglandifolium*.

Fig. 3. — Coupe verticale de l'écorce et du liége de l'orme. *a' a'' a'''*, trois couches de liége; *b*, écorce située sous le liége; *d d*, écorce d'une partie de la branche sur laquelle il ne s'est point développé de liége. Cette partie possède un tissu fibreux *f* qui n'existe point dans la partie *b* de l'écorce qui a produit du liége; *t*, épiderme.

Fig. 4. — Coupe verticale de l'écorce et du liége d'une jeune branche du *quercus suber*. *f*, tissu fibreux de l'écorce; *m*, tissu médullaire de l'écorce; *a' a'' a'''*, trois couches de liége; *t*, épiderme.

Fig. 5. — Coupe verticale du liége du *tamus elephantipes*.

Fig. 6. — Vue microscopique de la coupe verticale des couches de liége *d e* de la figure 5.

PLANCHE 4.

Fig. 1, 2, 3. — Naissance et développement des racines du *nymphea lutea*.

Fig. 4. — Naissance et développement des racines et des tiges du *sparganium erectum*.

Fig. 5. — Tige de *potamogeton natans*, servant à la démonstration de l'origine et de la nature différente des *feuilles stipules a a a*, et des *feuilles ramules c f h*.

Fig. 6. — Coupe transversale du pétiole de la feuille de la bourache.

Fig. 7. — Coupe transversale du pétiole de la feuille du pommier.

Fig. 8, 9, 10. — Développement progressif de la feuille de l'*hydrocotyle vulgaris*.

PLANCHE 5.

Fig. 1. — Végétations descendantes opérées par deux replis du bois et de l'écorce dans l'intérieur d'un merisier.

Fig. 2. — Coupe verticale de ces deux végétations descendantes.

Fig. 3. — Effets produits sur une grosse branche de pommier par la décortication annulaire. Les couches annuelles *d* produites au-dessus de cette décortication se sont trouvées composées de rayons médullaires à l'exclusion des fibres verticales.

PLANCHE 6.

Végétations descendantes opérées par deux replis du bois et de l'écorce dans l'intérieur d'un saule.

PLANCHE 7.

Fig. 1. Coupe verticale d'une souche de *pinus picea* dont l'arbre a été abattu depuis 18 ans, et qui a continué néanmoins à s'accroître en diamètre par la production de couches ligneuses *b* et de couches corticales *e*, dont l'ensemble a recouvert la coupe *d* de l'arbre dont on voit ici l'ancien bois *s*.

Fig. 2. — Coupe verticale d'une souche de *pinus picea* qui a continué de s'accroître en diamètre pendant 92 ans après que l'arbre a été abattu. L'ancien bois de l'arbre n'existe plus; sa place est occupée en partie par les nouvelles couches ligneuses et corticales reployées en volute *g*; la ligne *b d* indique la limite de cet ancien bois de l'arbre qui a été détruit par la pourriture.

PLANCHE 8.

Fig. 1. — Branche d'érable dont les feuilles ont leur disposition opposée croisée normale.

Fig. 2. — Branche d'érable dont les feuilles ont pris la disposition alterne dans le même sens.

Fig. 3. — Branche d'érable dont les feuilles ont pris la disposition alterne à contre-sens.

Fig. 3*. — Branche d'érable qui est censée faire suite à la précédente et dont les feuilles sont en *quinconce* ou en pentaphylles spiralés dirigés de gauche à droite.

Fig. 4. — Branche d'érable dont les feuilles ont pris la disposition alterne à contre-sens, mais d'une manière différente de celle qui a lieu dans la figure 3.

Fig. 4*. — Branche d'érable qui est censée faire suite à la précédente et dont les feuilles sont en quinconce ou en pentaphylles spiralés dirigés de droite à gauche.

Fig. 5. — Branche d'érable dont les feuilles sont alternes à contre-sens dans le bas et sont disposées dans le haut en triphylle spiralé dirigé de gauche à droite.

Fig. 6. — Branche d'érable dont les feuilles sont alternes à contre-sens dans le bas, et sont disposées dans le haut en triphylle spiralé dirigé de droite à gauche.

PLANCHE 9.

Fig. 1. — Branche d'érable dont les feuilles sont disposées en trois triphylles spiralés, qui se suivent régulièrement.

Fig. 2. — Branche d'érable portant trois triphylles spiralés, qui sont séparés les uns des autres. Les feuilles du triphylle spiralé intermédiaire 4, 5, 6, ont pris une position qui correspond aux intervalles des feuilles des deux autres triphylles spiralés 1, 2, 3, et 7, 8, 9.

Fig. 2*. — Branche d'érable qui est censée faire suite à la précédente et dans laquelle des feuilles de chaque triphylle spiralé de la fig. 2 se sont placées à la même hauteur, de manière à former une verticille de trois feuilles.

Fig. 3. — Branche d'abricotier dont les feuilles sont disposées en pentaphylles spiralés qui sont ici au nombre de quatre. En ne considérant que la feuille la plus basse de chacun de ces pentaphylles spiralés *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, on voit que ces feuilles *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, sont elles-mêmes disposées en spirale sur la tige, ce qui n'a point lieu dans l'état normal.

Fig. 4. — Branche de laurier dont la première feuille correspond verticalement à la neuvième au-dessus.

Fig. 5. — Branche de pin dont le premier faisceau de feuilles géminées correspond verticalement au 22e au-dessus.

Fig. 6. — Indication de la situation des feuilles sur la branche de pin de la figure 5, en les supposant ramenées à la même hauteur sur une coupe horizontale de la branche.

PLANCHE 10.

Fig. 1. — *a*, Embryon gemmaire, développé dans une feuille de renoncule bulbeuse; *b*, le

même embryon commençant à se développer en bulbille.

Fig. 2. — Le même embryon ayant produit une tigelle munie, à son sommet, de deux feuilles opposées et fort petites; il a commencé aussi à produire des racines.

Fig. 3. — Forme des feuilles qui succèdent immédiatement à celles qui sont représentées dans la fig. 2 et qui ne ressemblent point encore à celles de la plante adulte.

Fig. 4. — Coupe verticale de la graine du *tamus communis*; l'embryon, situé à la base du périsperme, est composé de séries rectilignes et concentriques de cellules.

Fig. 5. — Cellules du périsperme de la graine du *tamus communis* très-amplifiées. On voit que chaque cellule *a* contient dans son milieu un corps opaque *b* qui est un liquide granuleux contenu dans une cellule particulière.

Fig. 6. — Les mêmes cellules qui ont séjourné dans l'alcool; on voit que le liquide granuleux *c*, coagulé et diminué de volume par l'action de l'alcool, a abandonné une partie, *b*, de la cellule qui le contient et qui est située dans la cellule extérieure *a*.

Fig. 7. — Germination commençante de la graine du *tamus communis*; *a*, graine; *d*, embryon séminal globuleux sorti de la graine et qui commence à développer sa radicule *b*.

Fig. 8. — Germination accomplie de la même graine; *a*, embryon séminal globuleux formé par le second mérithalle de la plante; *b*, radicule couverte de poils et qui tarde peu à mourir; *c*, cotylédon renfermé dans l'intérieur de la graine, dont le pourtour est ici indiqué seulement par une ligne circulaire ponctuée; *i*, second cotylédon ayant forme de feuille et opposé au cotylédon *c*; *f*, feuille terminale du second mérithalle globuleux *a*; *o*, bourgeon qui continuera la tige.

Fig. 9. — *Tamus communis* dans sa seconde année. Le corps globuleux *a* est formé par un développement du second mérithalle *a* de la figure 8. Je le nomme *mérithalle fondamental*; il est tubéreux et demeure souterrain. Les racines naissent sur tout son pourtour.

Fig. 10. — *Tamus communis* dans sa troisième année. Son mérithalle fondamental tubéreux *p* est devenue ellipsoïde.

Fig. 11. — Même mérithalle fondamental tubéreux, âgé de quelques années. Il s'allonge comme une racine par son extrémité inférieure *p'*.

Fig. 12. — Le même encore plus âgé et commençant à se bifurquer en *p'*. Son extrémité inférieure *p*, qui est blanche et molle, ressemble à une grosse spongiole de racine.

Fig. 13. — Le même, bifurqué et s'accroissant par ses deux extrémités inférieures *p*, *p'*.

PLANCHE 11.

Fig. 1. — Coupe verticale du mérithalle fondamental tubéreux représenté dans la figure 9 de la planche 10.

Fig. 2. — Coupe horizontale du même.

Fig. 3. Coupe verticale du même, lorsqu'il est devenu ellipsoïde.

Fig. 4. — Coupe horizontale de la tige du *tamus communis*.

PLANCHE 12.

Fig. 1. — Nodule ligneux du cèdre vu par son côté qui regardait le bois de l'arbre. Il est dépouillé de son écorce particulière *a*.

Fig. 2, 3, 4 et 5. — Formes diverses des nodules ligneux du cèdre.

Fig. 6. — Coupe verticale d'un nodule ligneux du hêtre.

Fig. 7. — Coupe horizontale du même nodule ligneux. On voit, par ces deux coupes, que le nodule ligneux est entièrement composé de rayons concentriques, et qu'il s'est accru en grosseur par couches successives.

Fig. 8. — Coupe verticale d'un autre nodule ligneux du hêtre.

Fig. 9. — Coupe verticale du nodule ligneux du cèdre, représenté par la figure 3. Sa pointe *b* touche au bois de l'arbre.

Fig. 10. — Nodule ligneux du hêtre, représenté en place sur l'arbre et coupé verticalement; il a produit une petite tige.

Fig. 11. — Nodule ligneux du cèdre, représenté en place sur l'arbre et coupé verticalement. Il touche au bois de l'arbre par sa pointe *b*, et il a produit une petite tige *a* par son extrémité opposée.

Fig. 12. — Décortication annulaire *aa*, pratiquée sur un nodule ligneux du cèdre.

Fig. 13. — Coupe verticale du nodule ligneux précédent, faite un an après la décortication annulaire. On y voit que la partie du nodule ligneux qui regarde l'arbre, a seule produit une couche nouvelle *d d*. La partie *b* de ce nodule ligneux qui regarde le dehors, a été frappée de mort.

Fig. 14. — Base d'une branche nouvelle du peuplier de Virginie; elle se détache avec beaucoup de facilité de l'arbre.

Fig. 15. — Branches nouvelles du même arbre. On voit en *aa* la ligne transversale, qui indique le défaut de continuité du corps ligneux de la branche, avec le corps ligneux de l'arbre.

PLANCHE 13.

Fig. 1 et 3. — Vue des deux côtés opposés d'une énorme loupe développée sur un jeune hêtre.

Fig. 2. — Coupe verticale de cette loupe. On voit qu'elle a été produite par le développement d'un nodule ligneux *a*, qui s'est confondu par adhérence avec le corps de l'arbre, mais qui a cependant conservé la structure à rayons concentriques propre aux nodules ligneux.

PLANCHE 14.

Fig. 1. — Coupe transversale de la tigelle radiciforme de la betterave, lorsqu'elle n'a encore que trois à quatre millimètres de diamètre; *a*, parenchyme cortical qui disparait de bonne heure; *b*, partie interne et très-mince de l'écorce, partie qui subsiste seule plus tard. On distingue déjà quatre couches au système central.

Fig. 2. — Jeune betterave telle qu'elle est peu de temps après la germination. La tigelle *b* est souterraine, elle ne présente en dessus du sol *s s* que son sommet *a*, qui porte les deux feuilles cotylédonaires. La racine *c* nait au-dessous d'un petit renflement que possède inférieurement la tigelle radiciforme.

Fig. 3. — Portion de tige de *mimosa entada*. Sa partie inférieure *a* est contournée en spirale de gauche à droite, sa partie supérieure *b* est contournée en spirale de droite à gauche. Les bourgeons *oo* suivent la direction de ces deux spirales.

Fig. 4. — Coupe horizontale de cette même tige qui est très-excentrique. Sa moelle est en *a*, elle est recouverte par une couche mince de tissu fibreux *b*. *o* est un des bourgeons de cette tige.

Fig. 5. — Coupe transversale de la tige du *myriophyllum spicatum*. On voit en *a* les ouvertures des douze canaux pneumatiques de cette tige.

Fig. 6. — Valve de gousse de légumineuse desséchée et contournée en spirale.

Fig. 13. — La même valve à moitié déroulée, pour faire voir le mécanisme de son contournement.

PLANCHE 15.

Fig. 1. — Fleur en bouton de *mirabilis jalappa*.

Fig. 2. — Même fleur épanouie, ou dans l'état de réveil.

Fig. 3. — Même fleur fermée, ou dans l'état de sommeil.

Fig. 4. — Vue au microscope de la coupe longitudinale d'une des nervures de la corolle du *mirabilis jalappa*; *a*, côté externe; *b*, côté interne; *c*, tissu cellulaire incurvable par turgescence de liquide; *d*, tubes pneumatiques; *f*, tissu fibreux incurvable par turgescence d'oxygène; *g*, cellules pneumatiques superficielles.

Fig. 5. — Fleur en bouton de *mirabilis jalappa*, à laquelle on a enlevé toute la partie évasée de la corolle, en ne laissant subsister qu'une seule des nervures, laquelle se courbe en dedans étant plongée dans l'eau.

Fig. 6. — Même fleur épanouie, traitée comme la précédente. Plongée dans l'eau, sa nervure se courbe en dehors.

Fig. 7 et 8. — La nervure qui, plongée dans l'eau, s'était d'abord courbée en dehors comme on le voit dans la figure 6, abandonne cette courbure au bout de quelques heures et se courbe en spirale en dedans, comme le représentent les deux figures 7 et 8.

Fig. 9. — Même fleur, dont une nervure a été fendue en deux; la moitié externe *c* se courbe en dehors, et la moitié interne *f* se courbe en dedans.

Fig. 10. — Fleur en bouton d'*ipomea purpurea*.

Fig. 11. — Demi-fleuron de la fleur du pissenlit dans l'état de réveil.

Fig. 12. — Le même demi-fleuron dans l'état de sommeil.

Fig. 13. — Le même demi-fleuron dans l'état de réveil exagéré, tel qu'il a lieu lorsque ce demi-fleuron est plongé dans l'eau non aérée.

Fig. 14. — Vue au microscope de la coupe longitudinale de l'une des nervures du demi-fleuron de la fleur du pissenlit; *b*, côté interne; *a*, côté externe. *c*, tissu cellulaire incurvable par turgescence de liquide; *d*, tubes pneumatiques; *f*, tissu fibreux incurvable par turgescence d'oxygène; *g*, cellules pneumatiques superficielles.

PLANCHE 16.

Fig. 1. — Coupe transversale du renflement moteur d'une foliole de la feuille de haricot. *s*, côté supérieur; *l*, côté inférieur; *c*, tissu cellulaire incurvable par turgescence de liquide et composé de cellules qui décroissent principalement de grandeur du dedans vers le dehors, ce qui fait que l'incurvation de ce tissu cellulaire tend à s'opérer vers le dehors. *b*, cellules pneumatiques. *f*, couche de tissu fibreux incurvable par oxygénation. *d*, trachées remplies d'air et dont les faisceaux sont séparés par des rayons qui partent du centre *a*, lequel est occupé par du tissu fibreux semblable à celui de la couche *f*.

Fig. 2. — Coupe longitudinale de la moitié inférieure du renflement moteur de la foliole du haricot. Les mêmes lettres indiquent les mêmes objets dans cette figure et dans la figure 1.

Fig. 3. — Coupe transversale du renflement moteur du pétiole de la feuille de sensitive. *s*, côté supérieur; *i*, côté inférieur; *c*, tissu cellulaire incurvable par turgescence de liquide et composé de cellules qui décroissent principalement de grandeur du dehors vers le dedans, ce qui fait que l'incurvation de ce tissu cellulaire tend à s'opérer vers le dedans. *b*, cellules pneumatiques; *f*, couche de tissu fibreux incurvable par oxygénation; *d*, tubes pneumatiques; *a*, faisceau central de tissu fibreux semblable à celui de la couche *f*, et mêlé de quelques tubes pneumatiques.

Fig. 4. — Coupe longitudinale de la moitié inférieure du renflement moteur du pétiole de la feuille de sensitive. Les mêmes lettres indiquent les mêmes objets dans cette figure et dans la figure 3.

Fig. 5. — Coupe transversale du renflement moteur du pétiole de la feuille de l'*hedysarum strobiliferum*. *s*, côté supérieur; *i*, côté inférieur. *c*, tissu cellulaire incurvable par turgescence de liquide et composé de cellules qui décroissent principalement de grandeur du dedans vers le dehors, ce qui fait que l'incurvation de ce tissu cellulaire tend à s'opérer vers le dehors. *f*, couche de tissu fibreux incurvable par oxygénation. *d*, tubes pneumatiques dont les faisceaux sont séparés par des rayons partant du centre.

Fig. 6. — Portion de tige de sensitive portant deux feuilles dont on ne voit ici que la partie inférieure des pétioles occupée par les renflements moteurs *a* et *c*. En *a*, le renflement moteur est droit et le pétiole est redressé, ce qui constitue l'état de réveil : en *c*, le renflement moteur est courbé vers la terre, ce qui dirige le pétiole dans le même sens; c'est l'état de sommeil.

Fig. 7. Portion de tige d'*hedysarum strobiliferum*, portant deux feuilles, dont on ne voit ici que la portion inférieure des pétioles, à la base de chacun desquels existe un renflement moteur *c*, *c*. Le pétiole *b* est dans l'état de réveil; le pétiole *a* est dans l'état de sommeil.

PLANCHE 17.

Fig. 1. Coupe transversale de la radicule du haricot.

Fig. 2. Coupe transversale de la jeune tige du haricot.

Fig. 3. Tige ou hampe de la fleur du pissenlit fendue en deux pour démontrer la manière dont s'opère le redressement des tiges vers le ciel.

Fig. 4. Radicule du haricot fendue en deux, pour démontrer la manière dont s'opère l'inflexion des racines vers la terre.

Fig. 5. A, graine germée, dont la tige et la racine sont placées tangentiellement à une roue. B, par l'influence du mouvement de rotation de la roue, la tige s'est fléchie vers le centre de la rotation et la racine en sens opposé. *C*, petite feuille dont le pétiole est fixé par sa base à la circonférence de la roue. D, même feuille qui, par l'effet du mouvement de rotation, a fléchi son pétiole de manière à diriger son sommet qui porte le limbe vers le centre de la rotation.

PLANCHE 18.

Fig. 1. Tige de luzerne qui s'est fléchie vers la lumière.

Fig. 2. Même tige dont la portion fléchie a été fendue en deux. La moitié *b*, qui était dirigée vers la lumière, s'est courbée plus profondément après cette division; la moitié *a* s'est redressée. La ligne ponctuée *c d* indique la courbure de la tige avant sa division en deux moitiés.

Fig. 3. Tige de lierre qui croissait appliquée sur le tronc d'un arbre, et qui, en ayant été détachée, a été fendue en deux. La moitié *a*, qui était appliquée sur l'arbre, s'est courbée très-profondément après cette division; cette courbure a lieu dans le sens opposé à celui de l'afflux de la lumière. La moitié *b* est demeurée presque droite ou ne s'est fléchie que légèrement vers le dehors.

Fig. 4. Coupe transversale d'une jeune tige de *phytolacca decandra*; *c*, médulle centrale; *f*, couche fibreuse du système central disposée par faisceaux; *a*, écorce entièrement composée de cellules qui décroissent principalement de grandeur du dehors vers le dedans, ce qui fait qu'elle tend à se courber vers le dedans par turgescence de liquide.

Fig. 5. Coupe transversale de la partie très-jeune et encore herbacée d'une tige de lierre; *c*, médulle centrale; *f*, tissu fibreux du système central; *a*, écorce entièrement composée de cellules qui décroissent principalement de grandeur du dedans vers le dehors, ce qui fait qu'elle tend à se courber vers le dehors par turgescence de liquide.

Fig. 6. Tige et feuille de pommier renversées vers la terre.

Fig. 8. Retournement de cette feuille par l'inflexion de son pétiole vers la lumière.

PLANCHE 19.

Fig. 1. Feuilles renversées de chèvrefeuille, qui se sont retournées en partie par le moyen de la torsion de leur limbe.

Fig. 2. — Feuille de graminée qui, par le moyen de la torsion de son limbe, a dirigé sa face inférieure vers le ciel.

Fig. 3. — Fleur peloriée du cytise des Alpes, ou *faux ébénier*. *a*, pétale qui, dans la fleur normale, aurait été le pavillon ; *e*, *e*, pétales qui auraient été les deux ailes de la fleur normale ; *d*, pétale nouveau étranger à la fleur normale et opposé au pétale *a*. Les quatre pétales *a*, *c*, *d*, *c*, forment un premier verticille floral : les deux pétales *bb*, alternes avec les pétales *e*, *a*, *c*, auraient été unis l'un à l'autre pour former la carène de la fleur normale : ici ils composent seulement deux des quatre éléments du second verticille floral alterne avec le premier. Deux pétales manquent évidemment en *oo*.

Fig. 4. — Pistil de la fleur de l'amandier. L'ovaire contient deux ovules.

Fig. 5. — Ovule de l'amandier peu de temps après la floraison.

Fig. 6. — Ovule de l'amandier dont le nucel a percé l'enveloppe extérieure et montre sa pointe en *a*.

Fig. 7. — Ovule de l'amandier 45 jours après la floraison. *f*, primine ayant dans son épaisseur une raphe *l*, *g* ; *d*, secondine périsperme ; *a*, sac embryonnaire contenant à son sommet l'embryon *o*, et continu à sa base avec une hypostate *b*, qui est suivie de deux autres, lesquelles sont elles-mêmes la terminaison d'une tige filiforme *c*, qui tire son origine du point *g*.

Fig. 8. — Le sac embryonnaire *a* grossi de même que les trois hypostates qui sont à sa suite. L'embryon *o* commence à se diviser en deux cotylédons.

Fig. 9. — Le même ovule 80 jours après la floraison. On y voit avec plus de développement que dans la figure 7, l'embryon *o*, le sac embryonnaire *a* et les hypostates *b*. La secondine périsperme *d* est considérablement diminuée de volume.

Fig. 10. — Ovule du fusain. Sa base est placée dans une cupule *f*, qui, par son développement, deviendra l'arille. Une raphe *i* vient aboutir à son sommet *d*.

Fig. 11. — Le même ovule plus âgé et dépouillé de son arille. *c*, primine ; *b*, secondine périsperme, composée de rangées concentriques de cellules disposées par couches successives ; *h*, cavité centrale remplie de liquide ; *i*, raphe s'étendant de la base *e* de l'ovule à son sommet *d* ; *a*, embryon.

Fig. 12. — Graine mûre du fusain. *f f*, arille offrant en *g* une ouverture ; *c*, primine ; *b*, secondine périsperme ; *i*, raphe s'étendant de la base *e* de la graine à son sommet *d*.

PLANCHE 20.

Fig. 1. — Petite portion de l'ovule du *pisum sativum* encore très-jeune. *a*, embryon globuleux contenu, ainsi que les deux hypostates *b c* qui le suivent, dans l'épaisseur *d* des parois de l'ovule.

Fig. 2. — Petite portion du même ovule un peu plus âgé. L'embryon *a* divisé en deux cotylédons est situé dans la cavité de l'ovule, ainsi que l'hypostate *b* qui le suit. L'autre hypostate est encore dans l'épaisseur des parois de l'ovule, elle est unie au point *g* avec l'extrémité de la raphe.

Fig. 3. — Même ovule encore plus âgé ; *a*, embryon tenant par son extrémité inférieure à l'hypostate *b*, qui, de même que la seconde hypostate *c*, est située dans la cavité de l'ovule ; *d*, secondine ; *e*, primine dans l'épaisseur de laquelle est une raphe *d* qui s'étend de la base *f* de l'ovule à son sommet *g*.

Fig. 4. — Ovule du châtaignier ; *d*, embryon contenu dans le sac embryonnaire terminé par une sorte de boyau *g* et se continuant à sa base avec une hypostate *c* qui possède une cavité remplie de liquide. *a*, primine ou enveloppe extérieure de l'ovule.

Fig. 5. — Le même ovule plus âgé : *d*, embryon dont on ne voit plus le sac embryonnaire ; *c*, hypostate périsperme ; *i*, cavité centrale de cette hypostate ; *a*, primine ; *b*, point d'attache de l'ovule.

Fig. 6. — Graine du *galium aparine* ; *a*, péricarpe ; *b*, périsperme au milieu duquel est l'embryon *f* ; *c*, placentaire dont le parenchyme est de couleur verte.

Fig. 7. — Même graine plus développée. Le périsperme ou sac embryonnaire périspermique a envahi par son développement tout le pourtour du placentaire *c*.

Fig. 8. — Graine du *spinacia oleracea* ; *a*, induvie ; *b*, péricarpe membraneux ; *c*, sac embryonnaire ployé autour du périsperme *d* ; *g*, embryon. Le périsperme est véritablement un placentaire qui ne diffère de celui du *galium aparine* (fig. 7) que parce qu'il est farineux.

Fig. 9. Même graine coupée dans le sens de son épaisseur. Les lettres indiquent les mêmes objets que dans la figure 8.

Fig. 10. — Graine du *mirabilis jalappa* ; *a*, induvie ; *b*, péricarpe carcérulaire ; *d*, sac embryonnaire, dans lequel commence à apparaître

l'embryon *g* ; *c*, périsperme central. Ce périsperme est, comme celui du *spinacia oleracea*, un placentaire farineux.

Fig. 11. — Ovule du *nymphea lutea*; *f*, enveloppe extérieure de l'ovule; *g*, raphe aboutissant au sommet de l'ovule; *c*, seconde enveloppe de l'ovule recouvrant immédiatement le périsperme *b*. L'embryon *a*, *i*, est composé d'une enveloppe *a* que je considère avec Gærtner comme un cotylédon unique, et de deux feuilles rudimentaires *i* renfermées dans cette enveloppe.

PLANCHE 21.

Fig. 1. — Ovaire du seigle, observé cinq jours après la floraison; *a*, péricarpe; *b*, ovule ouvert par la moitié, laissant voir ainsi sa cavité centrale *d* et le repli *c* qui forme le sillon qu'il offre extérieurement.

Fig. 2. — Le même, observé treize jours après la floraison. Les mêmes lettres indiquent les mêmes objets. On commence à apercevoir l'embryon *g*.

Fig. 3. — L'embryon séminal du seigle très-grossi.

Fig. 4. — Le même, un peu plus âgé. On voit en *a* une fente longitudinale. L'embryon tient à la secondine par sa pointe *d*.

Fig. 5. — Le même embryon, pourvu d'une feuille cotylédonaire formée par la scissure de la partie *b* de la fig. 4, scissure qui s'est opérée en *a* de la même figure. Dans la fig. 5, la plumule se trouve ainsi découverte et se montre en *a*; *c*, partie inférieure ou radiculaire de l'embryon, laquelle présente à sa suite un corps conique *d*, ayant intérieurement une cloison transversale *g*.

Fig. 6. — Embryon du seigle, quarante jours après la floraison. La feuille cotylédonaire *b* est devenue scutelliforme : elle présente à sa surface antérieure un repli saillant *f*; *a*, plumule; *c*, radicule ou plutôt coléorhize renfermant la radicule future.

Fig. 7. — Le même embryon, vu de côté.

Fig. 8. — Embryon du seigle, quarante-cinq jours après la floraison; *b*, scutelle qui s'est allongée considérablement par sa base, laquelle est terminée en pointe *o*; *a*, plumule à la base de laquelle apparaît un petit corps *b* qui est considéré comme un second cotylédon.

Fig. 9. — Embryon du seigle, 55 jours après la floraison; *d*, scutelle; *a*, plumule ou premier cotylédon; *b*, second cotylédon; *c*, radicule renfermée dans sa coléorhize.

Fig. 10. — Ergot du seigle; *b*, corps de l'ergot produit par un développement morbifique de l'ovule; *a*, sommet de l'ergot produit par le développement morbifique du péricarpe.

PLANCHE 22.

Fig. 1 et 2. — *Byssus* naissant et projetant ses rameaux en rayonnant sur une planche à bouteilles dans une cave.

Fig. 3. — Le même *byssus* très-développé.

Fig. 4 et 5. Filaments du *byssus* qui, arrivés dans leur accroissement aux bords de la planche, demeurent pendants par faisceaux.

Fig. 6. — *Cantharellus*, fruit du *byssus*, commençant à naître dans l'intérieur du faisceau pendant de filaments.

Fig. 7. — Le même plus avancé dans son développement.

Fig. 8. — Le même encore plus avancé. Il commence à s'ouvrir à sa partie inférieure et à montrer la couleur jaune qu'aura la face inférieure du *Cantharellus*.

Fig. 9. — *Cantharellus* plus développé et vu par sa face supérieure.

Fig. 10. — Le même vu par sa face inférieure.

Fig. 11. — Développement complet du *Cantharellus*. Ce champignon possède quelquefois un pédicule *b*, comme on le voit ici. Ce pédicule, implanté sur la partie latérale de la face supérieure du champignon, est suspendu aux nombreux filaments de *byssus* *a* qui lui ont donné naissance. On aperçoit une petite portion *c* de la face inférieure, qui est lamelleuse et de couleur jaune.

Fig. 12 et 13. — Autres formes du même champignon vu par ses deux faces.

Fig. 14. — Coupe du *Cantharellus* selon la direction de ses lames.

Fig. 15. — La même coupe très-amplifiée. *a*, voile du champignon; *b*, séminules innombrables situés sur les filaments extrêmement déliés dont se composent les lames. Ces séminules ou sporules sont de grosseurs diverses, et représentées séparément en *c*.

Fig. 16. — Représentation de la manière dont les sporules doivent être attachées aux filaments qui existent dans le tissu des lames.

Fig. 17. — Filaments byssoïdes qui composent le tissu du voile (*a*, fig. 15); ces filaments sont mêlés de sporules. Ils sont amplifiés.

Fig. 18. — Filaments du *byssus* générateur du *Cantharellus*. Ils portent latéralement beaucoup de sporules.

PLANCHE 23.

Fig. 1. — Œuf de poule au quatrième jour de l'incubation et vu par sa partie supérieure. *a*, poulet que revêt immédiatement l'amnios; *b*, vessie ovo-urinaire; *c c*, les vaisseaux du vitellus; *f*, cavité formée par la séparation des deux feuillets de la membrane de la coque et remplie d'air.

Fig. 2. — Coupe verticale du même œuf, et à la même époque. *a*, emplacement occupé par le poulet vu du côté de la queue ; *b*, vessie ovo-urinaire ; *c*, vitellus ; *d d*, membrane chalazifère recouvrant la membrane propre du vitellus ; *f*, cavité remplie d'air.

Fig. 3. — Coupe verticale de l'œuf au sixième jour de l'incubation. *a*, cavité de l'amnios dans laquelle est le poulet non représenté ici ; *b*, vessie ovo-urinaire ; *c*, vitellus ; *d d*, membrane propre du vitellus.

Fig. 4. — Coupe verticale de l'œuf au huitième jour de l'incubation. *a*, poulet renfermé dans l'amnios ; *b*, vessie ovo-urinaire ; *o*, ouverture de l'ouraque ; *c*, vitellus.

Fig. 5. — Coupe verticale de l'œuf au dixième jour de l'incubation. *a*, poulet renfermé dans l'amnios ; *bb*, vessie ovo-urinaire qui, par son développement, est venue joindre ses extrémités opposées au point *g* : *o*, ouverture de l'ouraque ; *c*, vitellus ; *h*, ce qui reste de l'albumen. *f*, cavité remplie d'air.

Fig. 6. — Coupe verticale de l'œuf au quinzième jour de l'incubation. *a*, poulet contenu dans l'amnios ; *b b b*, cavité de la vessie ovo-urinaire ; *o*, ouverture de l'ouraque ; *c*, vitellus ; *d*, débris chiffonnés de la membrane chalazifère dont le vitellus s'est dépouillé antérieurement ; *f*, cavité remplie d'air.

Fig. 7, 8 et 9. — Ces figures sont établies pour démontrer la manière dont les parois de la vessie ovo-urinaire se ploient sur les troncs des vaisseaux de cette vessie.

PLANCHE 24.

Fig. 1. — Œuf de la couleuvre à collier observé le 15 juillet, époque à laquelle les œufs sont encore dans les oviductes. C'est la coupe verticale de cet œuf qui est représentée ici. *a*, fœtus contourné en spirale et contenu dans l'amnios ; *c*, vitellus ; *o*, cavité de la vessie ovo-urinaire ; *d*, vaisseaux du vitellus. Il n'y a point d'albumen.

Fig. 2. — Coupe verticale de l'œuf de la couleuvre à collier, observé le 30 juillet, après la ponte. *a*, fœtus entouré de l'amnios ; *bb*, cavité de la vessie ovo-urinaire ; *c*, vitellus ; *d*, vaisseaux du vitellus ; *g*, le point de conjonction des bords opposés de la vessie ovo-urinaire qui a envahi toute la surface interne de la membrane de la coque ; *o*, ouverture de l'ouraque.

Fig. 3. — Coupe verticale de l'œuf du lézard vert observé le 18 septembre. *a a*, cavité de l'amnios contenant le fœtus ; *b b*, cavité de la vessie ovo-urinaire ; *g*, le point de conjonction des bords opposés de cette vessie ; *c*, vitellus ; *d*, les vaisseaux du vitellus ; *o*, ouverture de l'ouraque.

Fig. 4. — Forme du têtard du crapaud de Roésel dans les premiers temps de son développement dans l'œuf, et vu par sa partie antérieure. L'organe semi-circulaire que l'on voit est le premier organe respiratoire du fœtus.

Fig. 5. — Même têtard encore dans l'œuf et un peu plus âgé. L'organe semi-circulaire est plus développé, c'est dans la gouttière *a* qui sépare ses deux branches, que s'ouvrira la bouche. Les deux points noirs que l'on voit au sommet de la tête sont les narines.

Fig. 6. — Même têtard prêt à sortir de l'œuf. *aa*, les narines ; *b*, la bouche dont l'ouverture s'est faite par une scissure de la peau ; *c*, organe respiratoire du fœtus ; *dd*, branchies qui ont déchiré la peau pour se produire au dehors.

Fig. 7. — Œuf du crapaud accoucheur observé deux jours après la ponte. *a*, corps fort petit du têtard ; *b*, son ventre contenant la matière du vitellus ; *c*, espace rempli d'eau ; *d*, coque de l'œuf.

Fig. 8. — Têtard du crapaud accoucheur encore contenu dans l'œuf, lequel n'est pas représenté ici. Le vitellus contenu dans son ventre est encore sphérique.

Fig. 9. — Même têtard plus âgé et encore dans l'œuf. Son vitellus contenu dans son ventre commence à prendre la forme ellipsoïde, son prolongement postérieur aboutit à l'anus.

Fig. 10. — Même têtard plus âgé et encore dans l'œuf ; son vitellus représente une poche recourbée sur elle-même.

PLANCHE 25.

Fig. 1. — Têtard du crapaud accoucheur plus âgé que celui qui est représenté par la figure 10 (pl. 24) et encore contenu dans l'œuf. Son vitellus allongé en boyau commence à se contourner en spirale.

Fig. 2. — Même têtard encore dans l'œuf : son vitellus, de plus en plus allongé en boyau, forme plusieurs tours de spirale, c'est l'intestin grêle du têtard ; l'intestin plus petit qui le suit aboutit à l'anus.

Fig. 3. — Œuf de la salamandre aquatique commençant à se développer ; *b*, corps proprement dit et encore informe de l'embryon ; *a*, son ventre contenant le vitellus ; *c*, cavité remplie d'eau ; *d*, glaire extérieure.

Fig. 4. — Même œuf un peu plus développé ; le corps proprement dit de l'embryon s'est développé en se ployant circulairement autour de son ventre vitelliforme *a*, en sorte que sa tête et sa queue sont venues se joindre au point *b* ; *c*, cavité remplie d'eau ; *d*, glaire extérieure.

Fig. 5. — Même œuf plus développé. Le corps proprement dit *b* du fœtus commence à cesser d'être ployé autour de son ventre vitelliforme *a*, *c*, cavité remplie d'eau; *d*, glaire extérieure.

Fig. 6. — Fœtus de salamandre plus âgé et encore dans l'œuf, qui n'est pas représenté ici; *b*, corps proprement dit; *a*, ventre vitelliforme.

Fig. 7. — Même fœtus plus âgé; *b*, corps proprement dit; *a*, ventre vitelliforme; *c*, branchies faciales naissantes.

Fig. 8. — Même fœtus toujours dans l'œuf; *aa*, branchies faciales; *bb*, branchies cervicales naissantes.

Fig. 9. — Salamandre qui vient de sortir de l'œuf; *a*, branchies faciales; *b*, branchies cervicales; *c*, membres antérieurs naissants.

Fig. 10. — Canal alimentaire de la salamandre qui vient de sortir de l'œuf; *a*, œsophage; *b*, estomac; *c*, intestin ellipsoïde et contenant la matière jaune du vitellus; *d*, le foie; *e*, la rate qui est ici l'analogue symétrique du foie.

PLANCHE 26.

Fig. 1. — Coupe idéale de l'œuf de la brebis à une époque voisine du commencement de la gestation. *a*, fœtus; *b*, son foie; *c*, cavité de l'amnios; *d*, vaisseaux ombilicaux; *ee*, cavité de l'allantoïde; *gg*, épiône ayant l'exochorion au-dessous d'elle; *mm*, endochorion se joignant à l'exochorion au point de conjonction *o*; *l*, vésicule ombilicale.

Fig. 2. — Vésicule ombilicale du fœtus de la brebis représentée à part et très-grossie. *a*, corps de la vésicule; *bb*, ses deux longues cornes; *c*, l'endroit par lequel elle tient à l'intestin.

Fig. 3. — Coupe idéale de l'œuf du chat, dans le sens du grand diamètre de cet œuf; *bb*, coupe transversale du placenta circulaire; *dd*, exochorion; *ii*, endochorion; *gg*, amnios; *o*, vésicule ombilicale; *aa*, épiône.

Fig. 4. — Coupe idéale de l'œuf du chat dans le sens de son petit diamètre; *bbb*, coupe du placenta circulaire formé par un développement en épaisseur de l'exochorion; *iii*, endochorion se réfléchissant au point *m*, sur l'exochorion ou sur le placenta et renfermant dans un repli la vésicule ombilicale *o*; *ggg*, amnios.

Fig. 5. — Coupe idéale de l'œuf du lapin; *mmm*, épiône; *bb*, lame externe de la vésicule ombilicale, reployée, ainsi que sa lame interne *cc*, autour de l'amnios *aa*; *o*, placenta composé de deux couches et formé par un développement particulier de la vessie ovo-urinaire dont une portion *i* subsiste encore.

PLANCHE 27.

Fig. 1. — Corps de vertèbre d'une très-jeune salamandre; elle est composée de deux cônes tronqués opposés à leur sommet *bb*; il forme ainsi un os *dicône*.

Fig. 2. — Le même présentant dans son milieu deux petites productions *ii*.

Fig. 3. — Coupe transversale de ce même os *dicône* vertébral faisant voir l'accroissement végétatif des deux productions *bb* qui étaient naissantes en *ii* dans la fig. 2.

Fig. 4. — Coupe transversale d'une vertèbre caudale d'une jeune salamandre faisant voir le développement à sa face inférieure de deux productions qui comprennent l'aorte entre elles.

Fig. 5. — La même vertèbre, vue de côté.

Fig. 6. — La même vertèbre d'une salamandre un peu plus âgée et faisant voir le développement des deux apophyses transverses *ii*.

Fig. 7. — Vertèbre dorsale d'une très-jeune salamandre; *bb*, lames de la vertèbre; *ii*, ses deux apophyses transverses.

Fig. 8. — Vertèbre dorsale de salamandre adulte, vue par sa partie antérieure; *a*, corps de la vertèbre; *b*, sa tête articulaire; *c*, sa cavité articulaire.

Fig. 9. — Coupe transversale de la colonne vertébrale encore gélatineuse du têtard âgé d'un mois; *a*, coupe transversale de la colonne gélatineuse; *bb*, tiges gélatineuses comprenant dans leur intervalle *c* la moelle épinière.

Fig. 10. — Degré plus avancé de développement des deux tiges gélatineuses *bb*, représentées dans la figure 9. Ici ces deux tiges commencent à se bifurquer.

Fig. 11. — Degré encore plus avancé de développement des deux tiges gélatineuses *bb*. Leurs branches internes se réunissent par leurs sommets en *c*, et renferment ainsi la moelle épinière; les deux branches externes *dd* forment ce que l'on nomme mal à propos les apophyses transverses. Ce sont véritablement des côtes.

Fig. 12. — Commencement de l'ossification des vertèbres gélatineuses du têtard. Les deux côtes *d d* deviennent deux os dicônes munis d'une épiphyse à chaque extrémité. Le même mode d'ossification se manifeste dans les deux tiges *b b* et dans les deux branches *g g*. L'enveloppe du cordon gélatineux *a* offre deux arcs osseux *ii*, séparés l'un de l'autre sur la ligne médiane *o*.

Fig. 13. — Progrès ultérieur de l'ossification de la vertèbre du têtard. Deux nouveaux arcs osseux *m m*, séparés l'un de l'autre sur la ligne médiane *s*, apparaissent dans l'enveloppe du

cordon gélatineux *a*; ils complètent le corps de la vertèbre. On voit naître sur chacune des branches internes *gg*, les deux apophyses transverses antérieures *oo*, et les deux apophyses transverses postérieures *c c*.

Fig. 14. — Vertèbre de grenouille adulte. *i*, corps de la vertèbre; *a*, apophyse épineuse; *b*, canal vertébral; *d d*, côtes; *oo*, apophyses transverses antérieures; *cc*, apophyses transverses postérieures.

Fig. 15. — *a*, fémur de la grenouille voisine de sa métamorphose; il forme un os dicône très-allongé; ses deux épiphyses gélatineuses *b*, *c*, émergent de sa cavité. *d*, les deux os de la jambe dont on ne voit point encore sortir les épiphyses.

Fig. 16. *a*, fémur de la grenouille encore plus voisine de sa métamorphose. Son épiphyse gélatineuse *b* s'est développée en forme de tête arrondie; son épiphyse inférieure *c* s'articule avec les deux épiphyses *i* du tibia *d* et du péroné *f*, dont on voit les deux épiphyses inférieures *h*.

Fig. 17. — Iléon de la grenouille voisine de sa métamorphose; *b*, iléon tubuleux muni à son extrémité vertébrale d'une petite épiphyse *g*, et à son extrémité fémorale d'une grosse épiphyse *d*. Cette dernière commence à s'ossifier à sa circonférence *a* : c'est cette épiphyse qui devient concave pour former la cavité cotyloïde conjointement avec l'extrémité de l'iléon, lequel s'aplatit dans la suite.

Fig. 18. — Omoplate de la jeune grenouille. Cet os est composé d'un os dicône *a* et d'une épiphyse très-développée et aplatie *b*. On voit en *c* la cavité glénoïde.

Fig. 19. — Patte postérieure de la salamandre aquatique.

Fig. 20. — Patte antérieure de la même salamandre.

Les numéros placés sur les doigts indiquent l'ordre de leur apparition, lorsque la patte se reproduit après avoir été amputée.

Fig. 21. — Tête de très-jeune salamandre avec ses branchies faciales *a*, *a*, qui commencent à se flétrir, et avec ses branchies cervicales *bb*, qui commencent à se ramifier.

Fig. 22. — Patte du fœtus de lézard vert observé dans l'œuf le 1er août. Cette patte, dont toutes les parties existent, est renfermée dans une enveloppe transparente. Un vaisseau sanguin *aaa*, suit tout le contour de cette enveloppe.

PLANCHE 28.

Fig. 1. — Canal alimentaire du ver à soie; *a*, œsophage; *b*, estomac; *d*, intestin; *c*, vaisseaux biliaires.

Fig. 2, 3 et 4. — Changements successifs de forme de ce même canal alimentaire chez la nymphe du ver à soie.

Fig. 5. — Canal alimentaire du papillon du ver à soie. *a*, œsophage; *c*, vaisseaux biliaires; *d*, intestin; *l*, cœcum; *o*, terminaison de l'intestin.

Fig. 6. — Canal alimentaire du fourmi-lion. *d*, œsophage; *a*, premier estomac; *b*, second estomac.

Fig. 7. — Canal alimentaire de la nymphe du fourmi-lion. *d*, œsophage; *a*, premier estomac pourvu d'un appendice aveugle *c*, qui est un organe biliaire supérieur; *b*, second estomac; *l*, intestin à l'origine duquel sont les vaisseaux biliaires inférieurs.

Fig. 8. — Canal alimentaire de la libellule du fourmi-lion. *o*, œsophage; *a*, premier estomac, dans lequel s'ouvre l'organe biliaire *c*; *b*, second estomac; *i*, intestin, à l'origine duquel sont les vaisseaux biliaires inférieurs; *d*, cœcum.

Fig. 9. — Canal alimentaire de la larve d'abeille. *b*, œsophage; *a*, estomac; *d*, intestin.

Fig. 10. — Canal alimentaire de l'abeille. *b*, œsophage; *c*, premier estomac; *d*, second estomac; *l*, intestin, à l'origine duquel sont les vaisseaux biliaires *a*; *o*, cœcum.

Fig. 11. — Canal alimentaire de la larve de la guêpe des arbustes. *a*, œsophage; *b*, estomac; *c*, petit cœcum terminant un intestin très-court.

Fig. 12. — Canal alimentaire de la guêpe des arbustes. *a*, œsophage; *b*, premier estomac; *c*, second estomac; *d*, intestin, à l'origine duquel sont les vaisseaux biliaires; *o*, cœcum.

Fig. 13. — Canal alimentaire d'une larve de mouche à scie. *a*, œsophage; *b*, estomac; *dd*, vaisseaux biliaires situés à l'origine de l'intestin; *c*, cœcum.

Fig. 14. — Coupe transversale de l'estomac de cette même larve.

Fig. 15. — Canal alimentaire de la nymphe de la même mouche à scie. *a*, œsophage; *b*, estomac; *d*, intestin; *c*, cœcum.

Fig. 16. — Canal alimentaire de la même mouche à scie. *a*, œsophage; *b*, premier estomac; *c*, second estomac; *d*, intestin; *o*, cœcum.

Fig. 17. — Canal alimentaire de la larve de la mouche abeilliforme. *a*, œsophage; *b*, premier estomac; *dd*, vaisseaux biliaires supérieurs; *c*, second estomac extrêmement allongé; *o*, intestin à l'origine duquel sont les vaisseaux biliaires inférieurs *ii*; *h h*, cœcums qui terminent l'intestin.

Fig. 18. — Deux sacs renflés et recourbés à leur extrémité *b a*, qui se trouvent dans l'abdomen de la larve de mouche abeilliforme et qui sont remplis par un fluide laiteux.

Fig. 19. — Canal alimentaire de la mouche abeilliforme. *a*, œsophage ; *b*, panse ou sac bilobé communiquant par un long canal avec l'œsophage ; *d*, estomac ; *i*, intestin, à l'origine duquel sont les vaisseaux biliaires *g g*.

Fig. 20. — Canal alimentaire de la larve du grand hydrophile. *e*, œsophage; *a*, premier estomac ; *o*, second estomac séparé du premier par un étranglement *i* ; *b*, intestin ; *c*, cœcum muni d'un appendice *n*. *r*, rectum ; *d*, anus.

Fig. 21. — Canal alimentaire du grand hydrophile. *a*, œsophage ; *b*, premier estomac ; *c*, second estomac ou gésier muni de dix lames cornées ; *d*, troisième estomac, dont la surface extérieure est couverte d'appendices piliformes que je regarde comme des canaux sécréteurs ; *f*, duodenum, à la terminaison duquel sont quatre vaisseaux biliaires *g g* ; *h*, intestin ; *i*, cœcum muni d'un appendice *n* ; *o*, rectum.

PLANCHE 29.

Fig. 1. — Tubicolaires quadrilobées dont les tubes, de grandeur naturelle, sont fixés sur des fragments de feuille laciniée de renoncule aquatique.

Fig. 2. — Tube de tubicolaire quadrilobée amplifié.

Fig. 3 et 4. — Tubicolaire ayant son organe rotatoire déployé et tantôt bilobé, tantôt quadrilobé. *b b*, yeux pédiculés ; *m*, organe de déglutition ; *d d*, corps ramifiés destinés à tendre le pavillon membraneux ; *c*, sommet au bord supérieur du pavillon supportant l'organe rotatoire.

Fig. 5 et 6. — Tubicolaire quadrilobée sortant de son tube sans déployer son organe rotatoire, et faisant voir ses deux yeux pédiculés et ses deux tentacules.

Fig. 7. — Tubicolaire quadrilobée dépouillée de son tube. On voit par transparence son organisation intérieure. *a*, yeux pédiculés, dont les globes ne sont pas tout à fait sortis ; *b*, tentacules ; *c*, organe de déglutition ; *d*, estomac ; *i*, intestin ; *g*, anus ; *e*, ovaire ; *f*, œuf engagé dans l'oviducte.

Fig. 8. — L'organe de déglutition très-amplifié.

Fig. 9 et 10. — Tubicolaire blanche ayant son organe rotatoire *a* tantôt circulaire, tantôt imparfaitement bilobé ; *b b*, ses yeux pédiculés ; *c*, son organe de déglutition.

Fig. 11. — Tubicolaire confervicole. *a*, organe rotatoire circulaire ; *b b*, yeux pédiculés ; *c*, organe de déglutition.

Fig. 12. — Rotifère ressuscitant vu du côté du dos et lorsqu'il rampe. *a*, tête munie de deux yeux ; *b*, corne dorsale ; *e*, organe de déglutition ; *f*, estomac ; *g*, ovaire ; *d*, queue composée de tubes, qui rentrent les uns dans les autres, et qui se termine par une fourche *i i*, du milieu de laquelle sort un trident *o* qui sert au rotifère pour se fixer.

Fig. 13. — Le même rotifère ayant son organe rotatoire déployé.

Fig. 14.—Le même, vu de côté et ayant sorti à la fois sa tête *a* et son organe rotatoire *c* ; *b*, corne dorsale.

Fig. 15. — Le même, ayant rentré à la fois sa tête et son organe rotatoire.

Fig. 16. — Le même, ayant son organe rotatoire ployé en forme de bras qu'il agite pour nager.

Fig. 17. — Tardigrade qui n'est autre chose qu'une larve d'acarus.

Fig. 18, 19 et 20. — Tubicolaire crucigère, vue sous trois aspects différents ; *b*, yeux globuleux situés sur un long tentacule.

Fig. 21. — Cordon ployé de manière à former des boucles alternatives. Cette figure et les deux suivantes sont destinées à la démonstration du mécanisme de la rotation chez les rotifères.

Fig. 22. — Petite portion de l'organe rotatoire de la tubicolaire quadrilobée très-grossie. C'est, comme on le voit, une lame membraneuse ployée en plis arrondis et alternatifs ; elle est fixée sur le bord supérieur du pavillon *p*.

Fig. 23. — Petite portion du même organe ployé en plis aplatis et simulant ainsi des bras ou des cils.

PLANCHE 30.

Fig. 1. — Organe de la génération du puceron femelle ; *c*, branches de l'ovaire dans lesquelles on voit par transparence les fœtus déjà formés. On n'a représenté ici que quatre branches, mais il y en a dix ; elles aboutissent à l'oviducte *a*, *b*, poche vésiculaire aboutissant par un canal à l'oviducte et qui paraît être un organe sécréteur de la liqueur visqueuse propre à coller les œufs sur les corps où l'insecte les dépose.

Fig. 2. — Organes de la génération du puceron mâle ; *b b*, poches vésiculaires au nombre de quatre de chaque côté ; ce sont les organes sécréteurs de la semence ; ils aboutissent aux deux canaux déférents *a a*.

Fig. 3. — Petit fragment de cerveau de grenouille vu au microscope. Les utricules qui composent ce tissu cérébral sont couvertes de corpuscules opaques, semblables à des points ; un petit vaisseau dans lequel on voit les globules sanguins traverse ce tissu.

Fig. 4. — Fibre nerveuse de grenouille, vue au microscope par transparence.

Fig. 5. — La même, vue au moyen de la lumière réfléchie.

Fig. 6. — Fibre musculaire de grenouille couverte de plis transversaux.

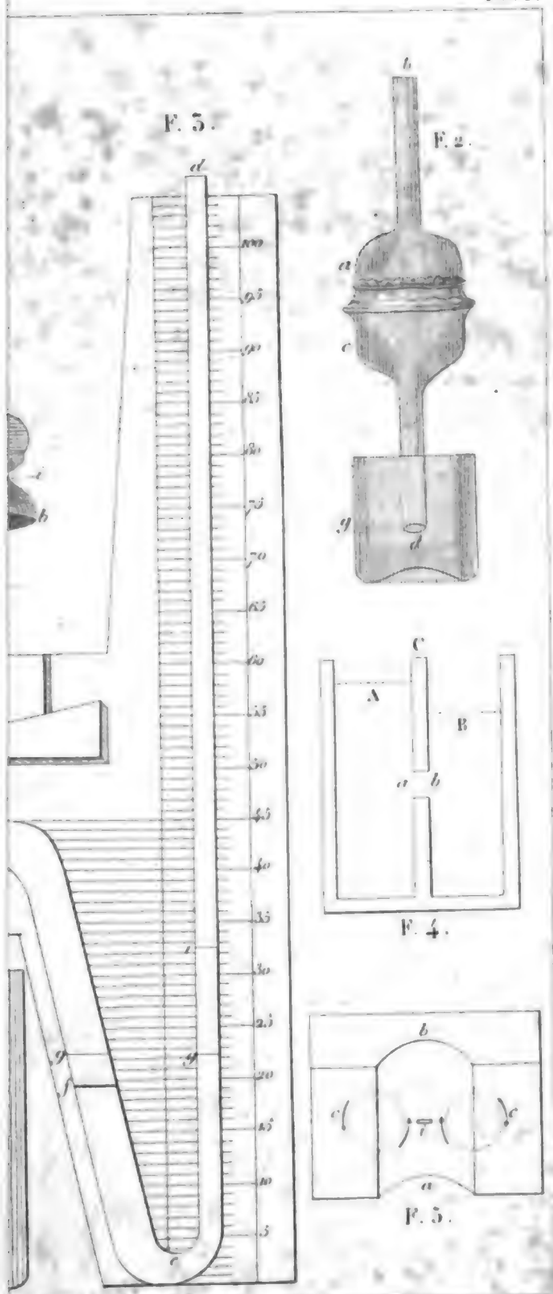
Fig. 7. — La même, dont les plis transversaux ont disparu après deux heures de séjour dans l'eau ; on voit par transparence qu'elle est composée intérieurement de fibrilles mêlées à d'innombrables corpuscules opaques semblables à des points.

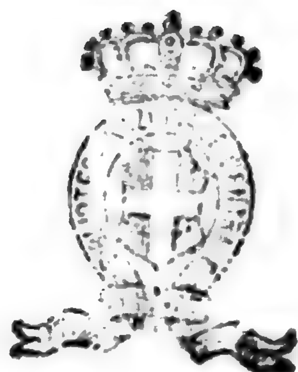
Fig. 8. — Fibres musculaires de grenouille fléchies en zigzag sous l'influence de l'électricité galvanique. Un tronc nerveux *a a* envoie à ces fibres et dans une direction qui leur est perpendiculaire des filets nerveux qui aboutissent aux sommets des angles de flexion des fibres.

Fig. 9. — L'un des tubes spermatiques qui abondent dans la laite du calmar, et qui sont connus sous le nom de *tubes à ressort ; t e*, tube contenant dans son intérieur : 1° un fil contourné en spirale *r*, et qui est contenu lui-même dans un petit tube particulier ; 2° un renflement *p*, désigné sous le nom de *piston* et faisant suite au fil en spirale ; 3° un autre renflement *b*, désigné sous le nom de *barillet*, faisant suite au *piston ;* 4° un corps opaque *a c*, uni au barillet *b* par un canal étroit *l*.

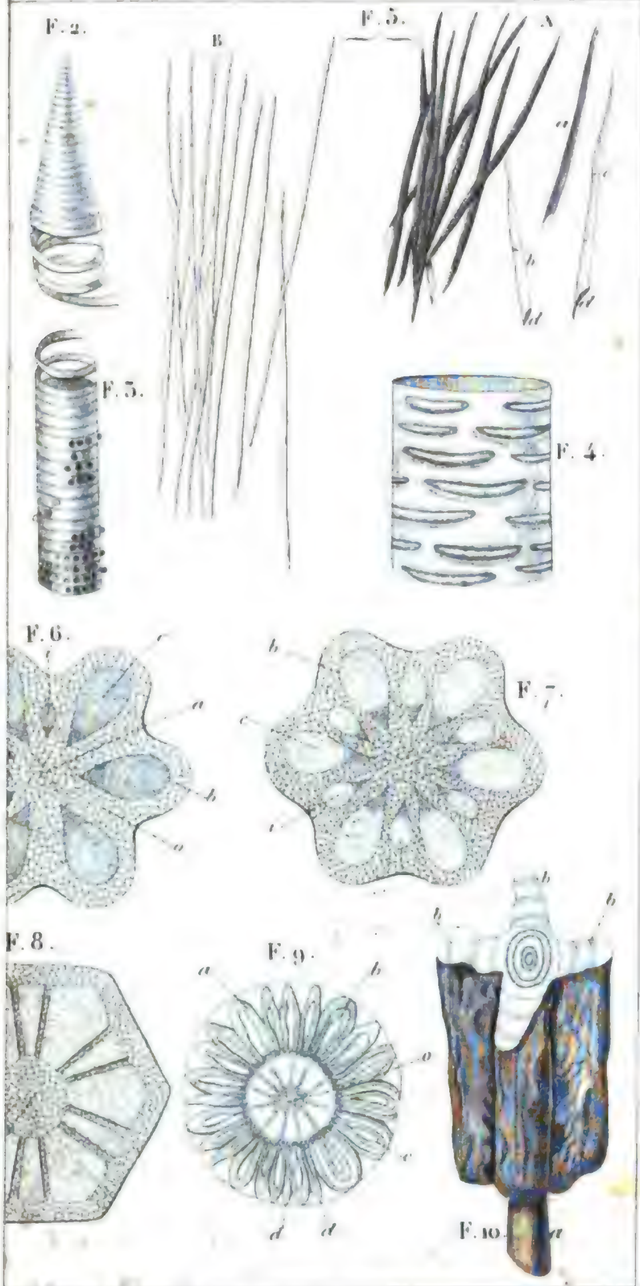
Fig. 10. — Même tube spermatique qui, plongé dans l'eau, a chassé au dehors les parties qu'il contenait par une ouverture qui s'est faite à son sommet *t ; r*, fil en spirale ; *p*, *piston* qui par rupture s'est séparé du *barillet b ; a c*, corps opaque qui s'est augmenté en grosseur et en longeur, et qui, par l'ouverture du barillet *b* avec lequel il est continu, verse au dehors le liquide granuleux *s* qu'il contient.

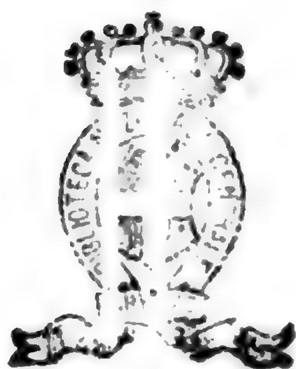
FIN DE L'EXPLICATION DES PLANCHES.


F. 3.
F. 2.
F. 4.
F. 5.
...anche à Bruxelles
J. B. ... Sculp.

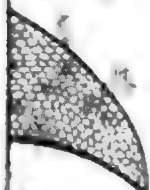


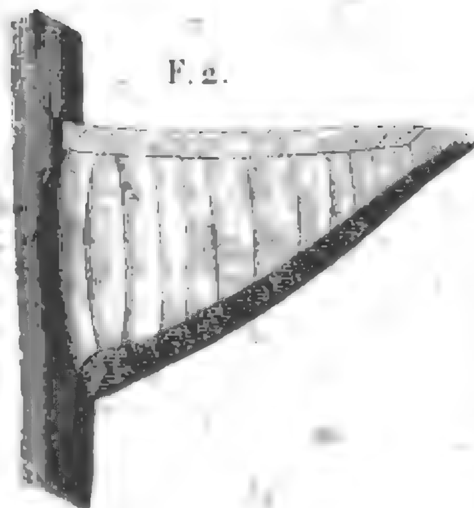
Pl. 2.

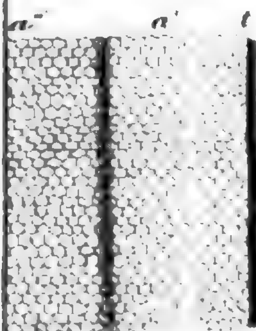




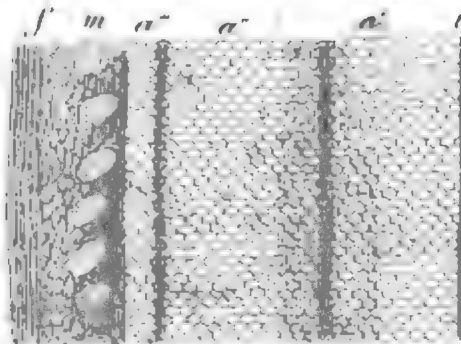
Pl. 3.



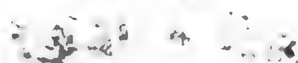




F. 3.



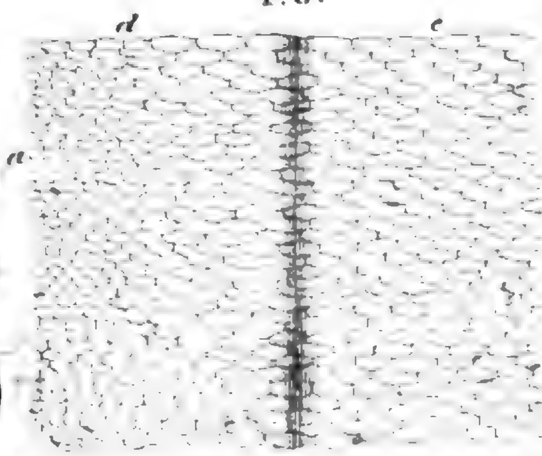
F. 4.



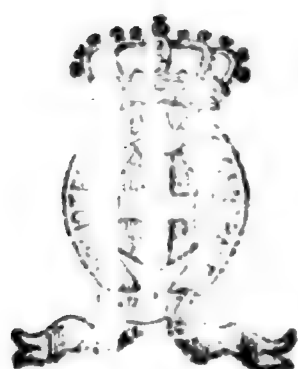
F. 6.

F. 5.

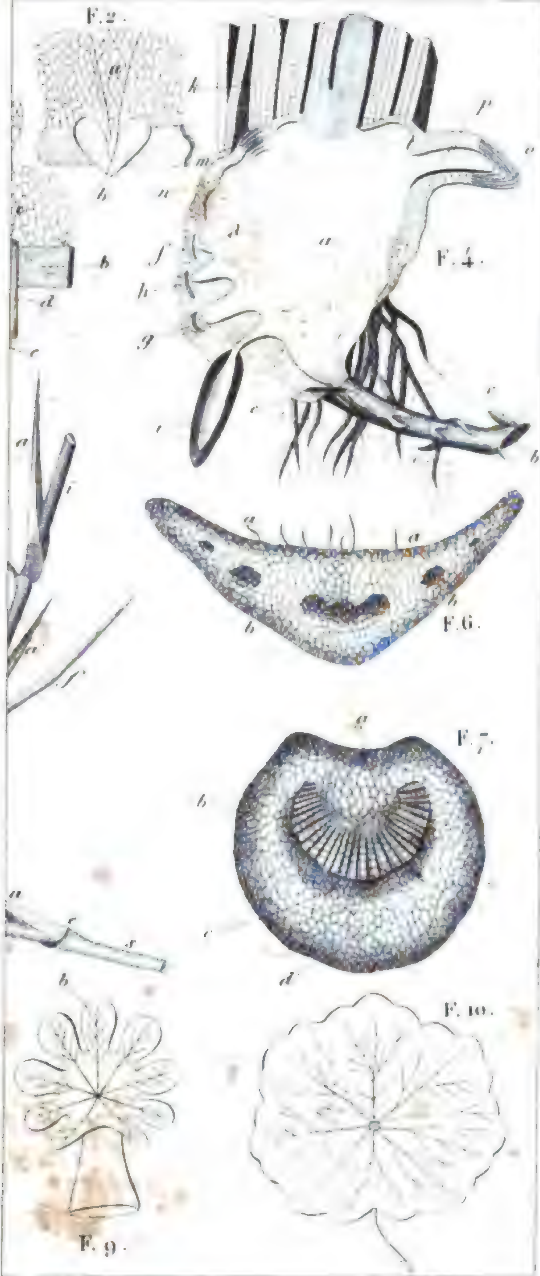


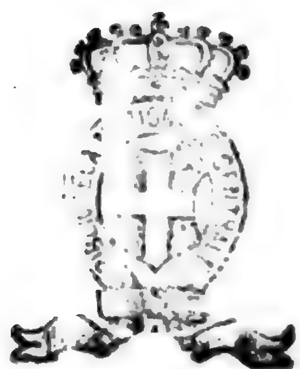


Lith. de ... à Bruxelles. J. R. ... Sc.



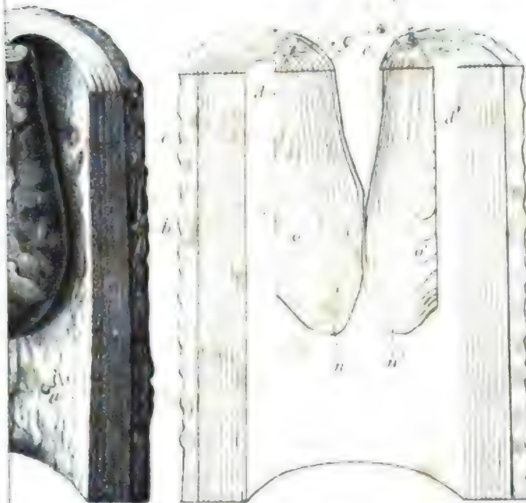
Pl. 4



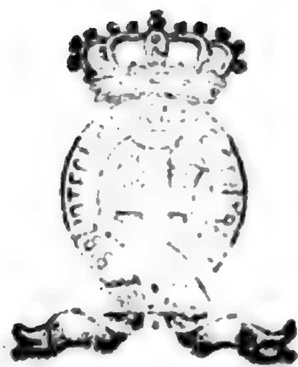


Pl. 3.





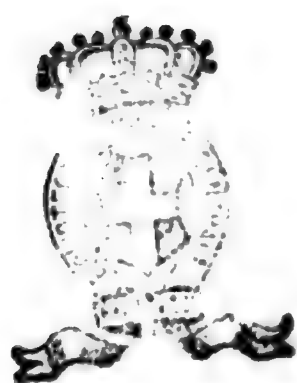
...ranke à Bruxelles.

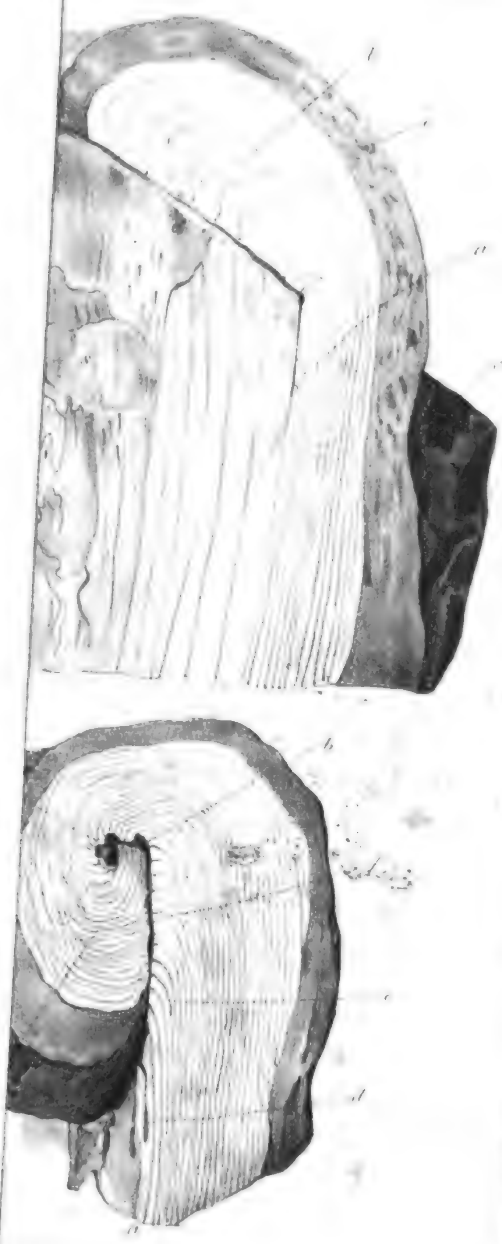


Pl. 6.



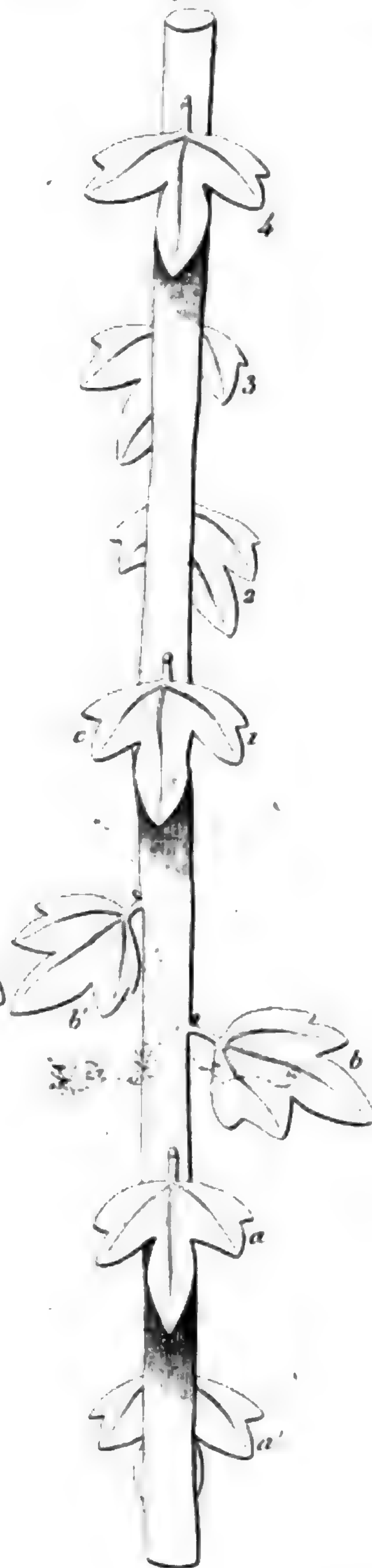
Lith. Toussaint Plétinckx à Bruxelles.



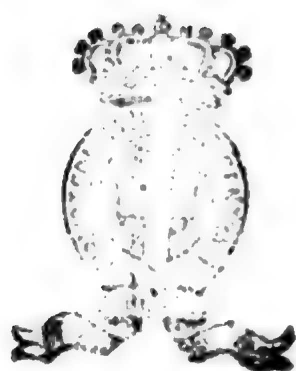


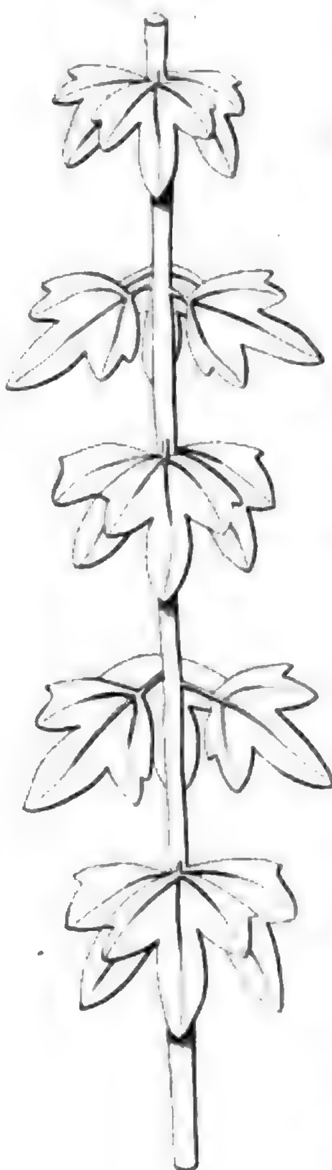






Bruxelles. J. R. Blaesnau Sculp.





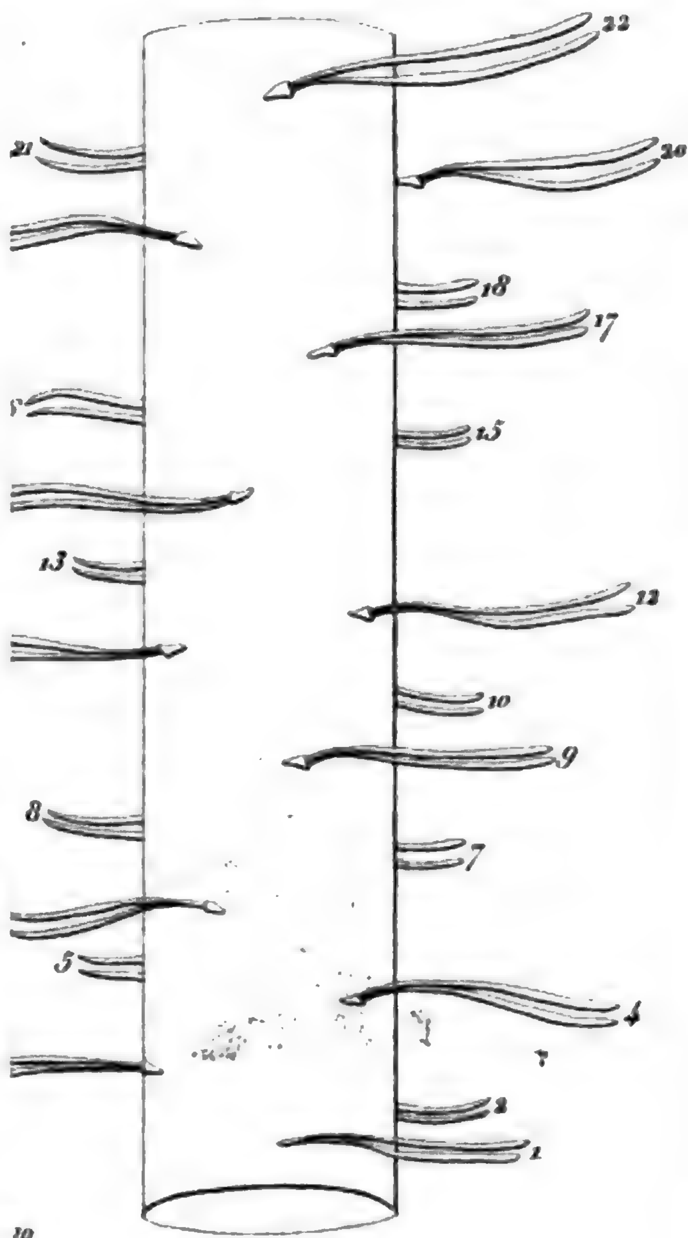
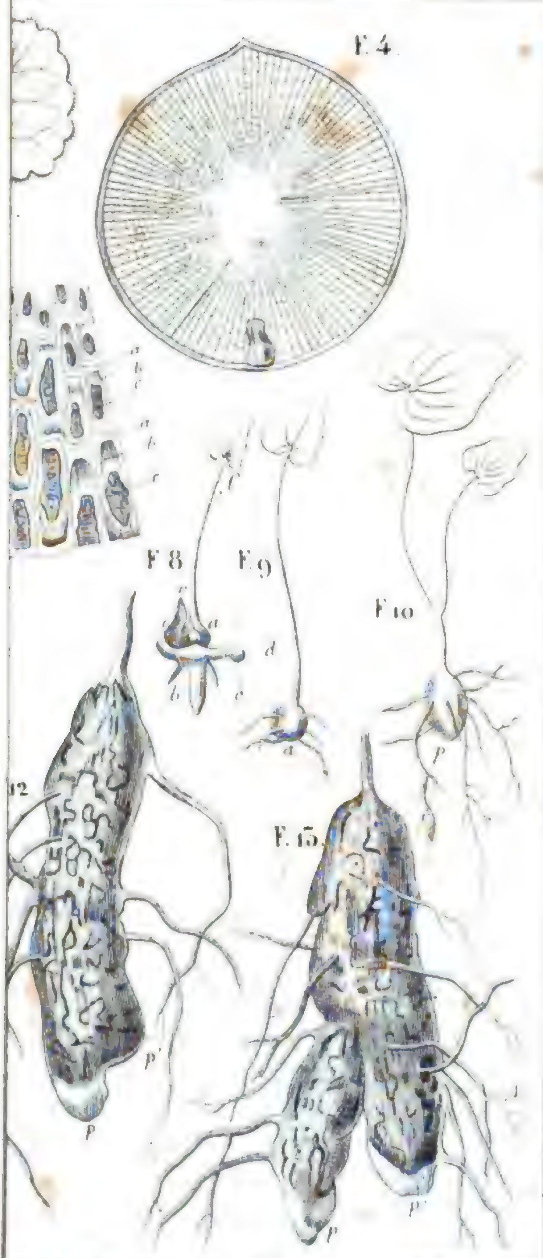


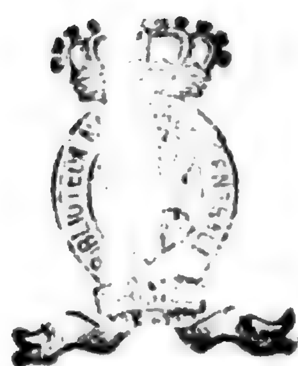


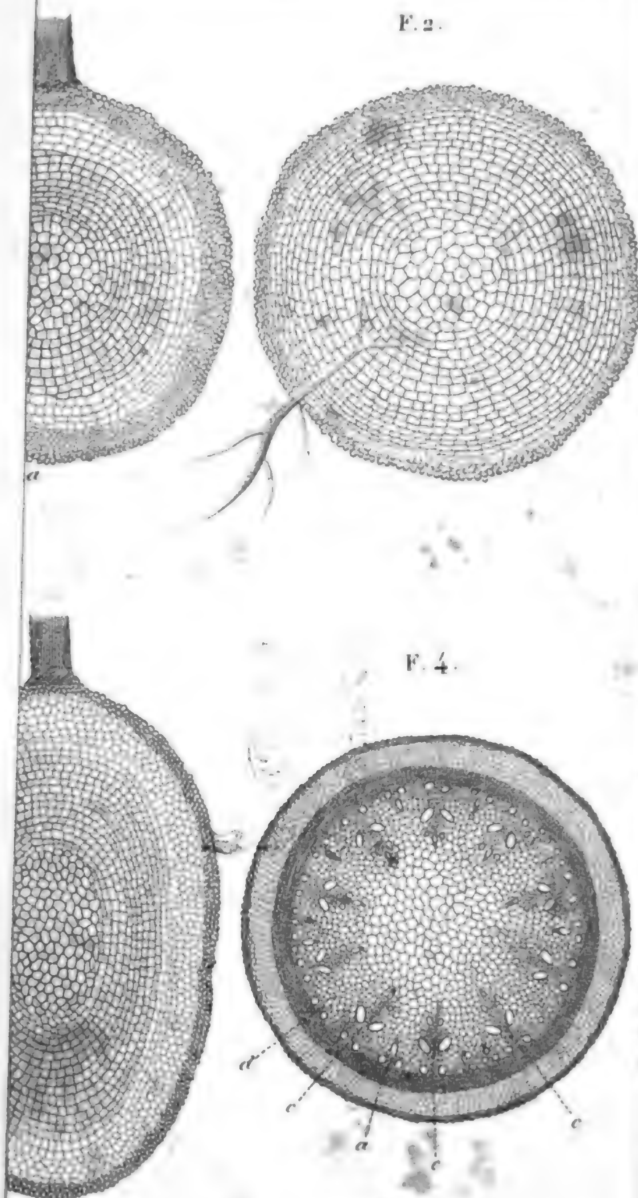
Fig. 6.

J. B. Massaueu Sculp.




F. 4.
F 8
F. 9
F 10
12
F. 13.
Lith. a Bruxelles
J.B. Blasseau Sculp.



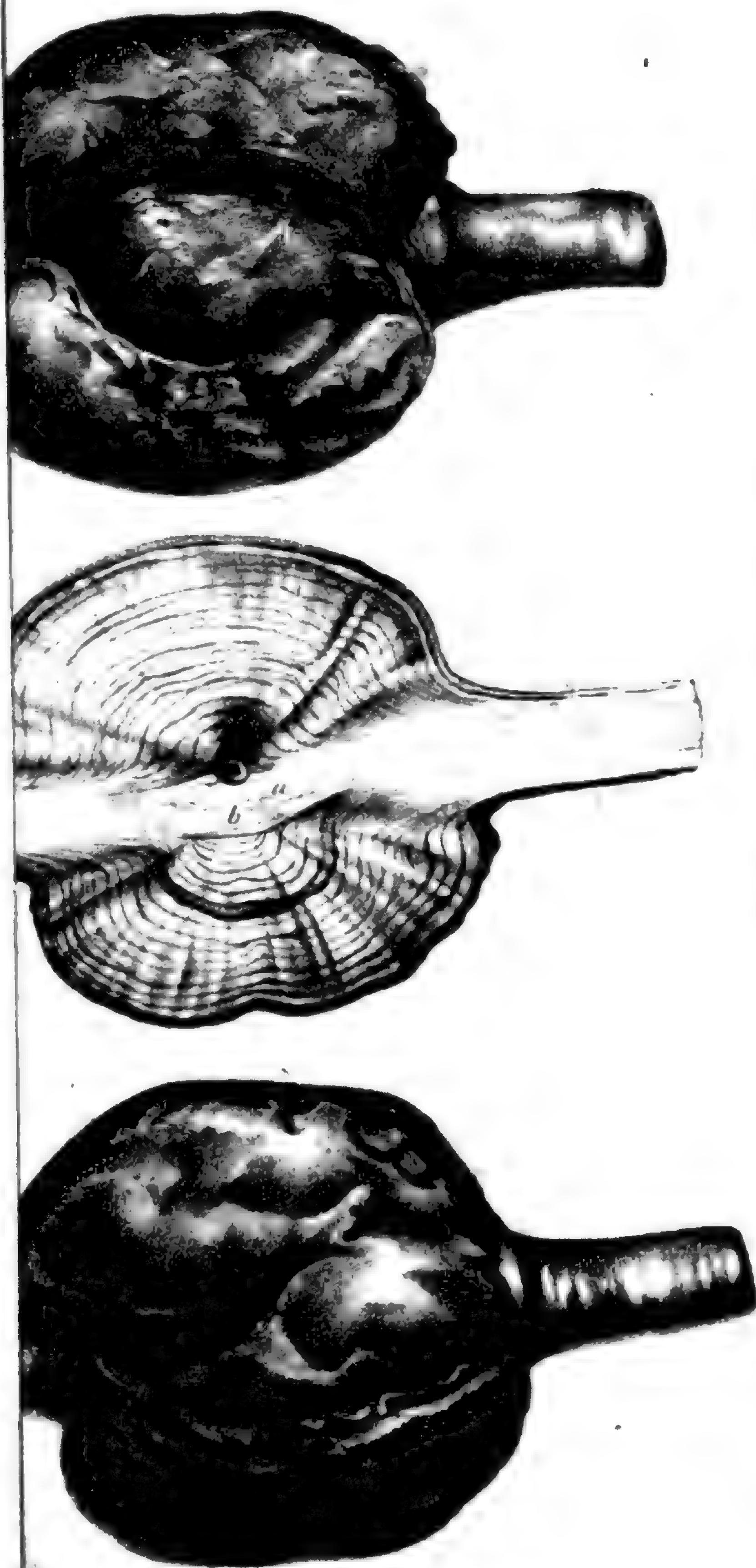


Demanne-Fletnckx à Bruxelles

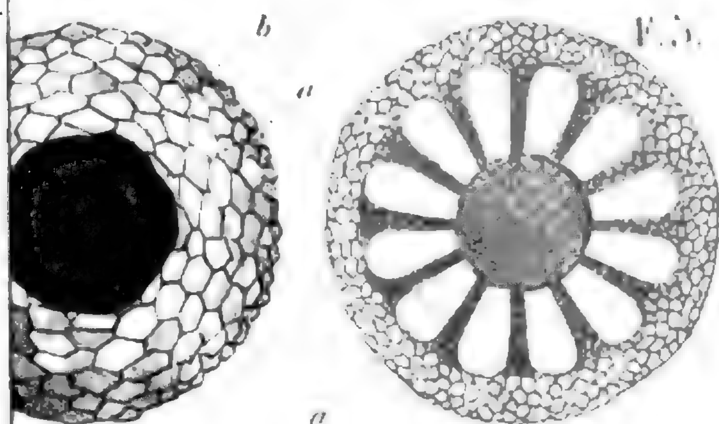
J.B. Bausens Sculp.

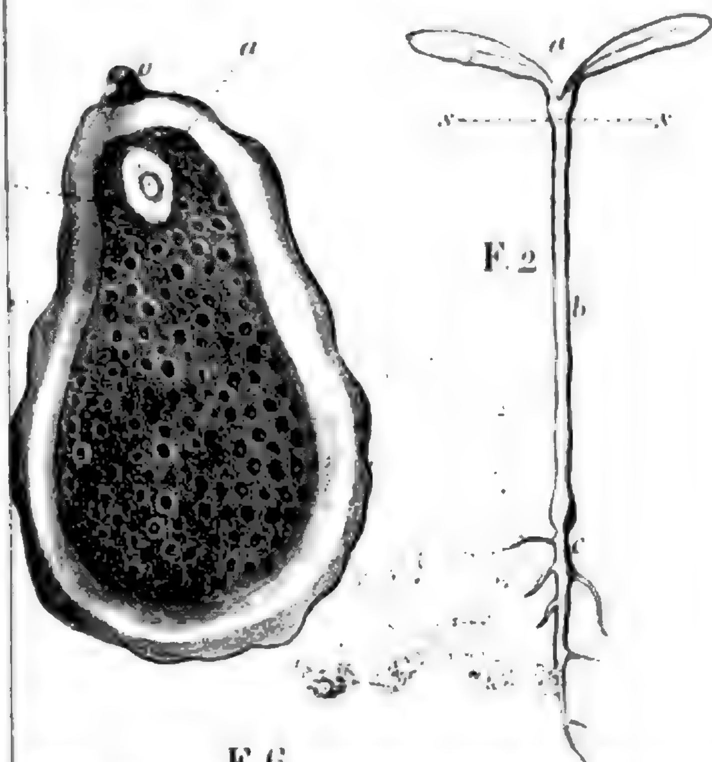



F.2
F.5.
F.15
...aine Pletinckx à Bruxelles



e Plainchx à Bruxelles.

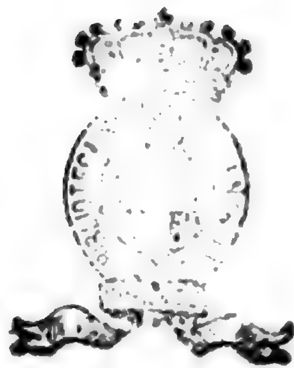


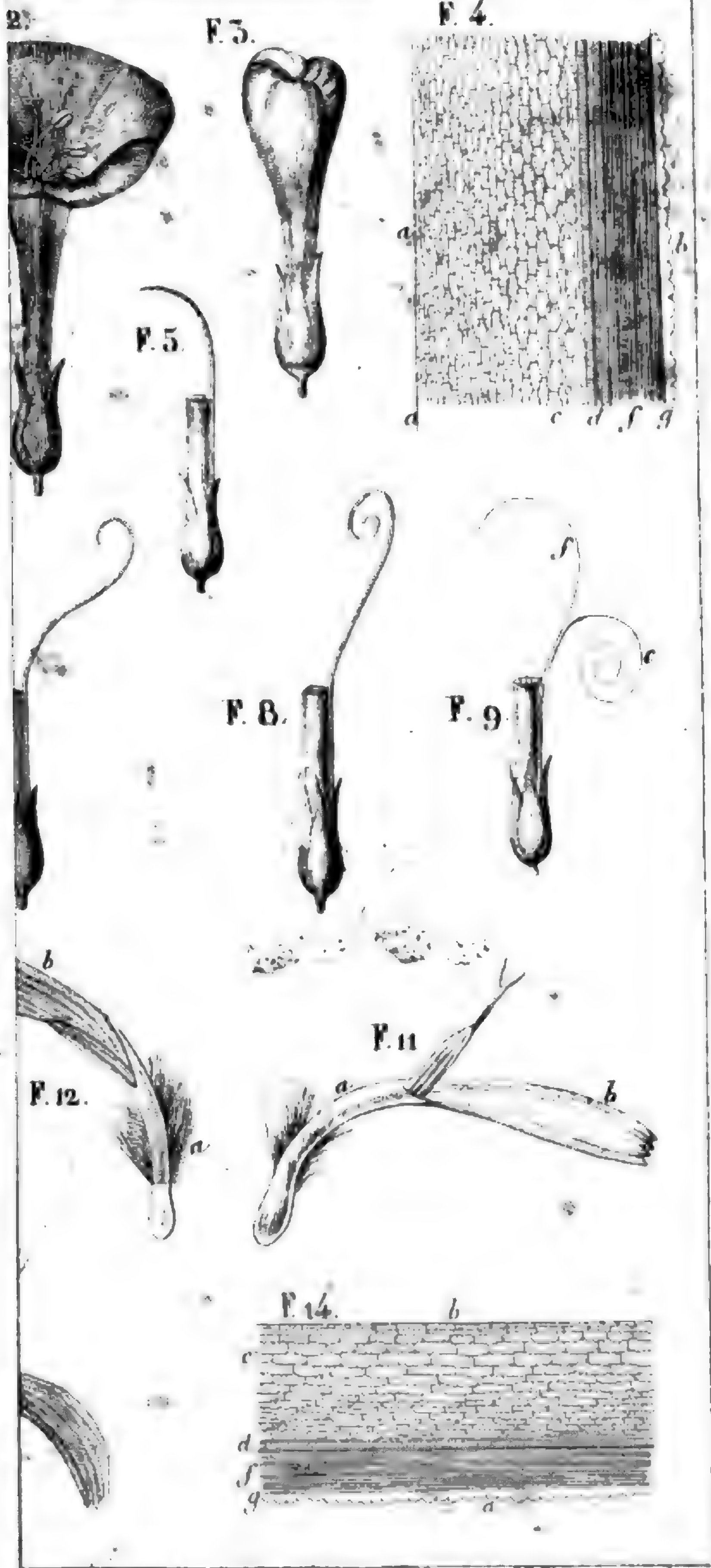


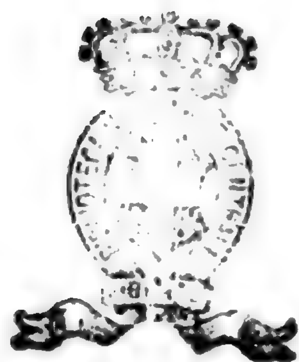
F.6.

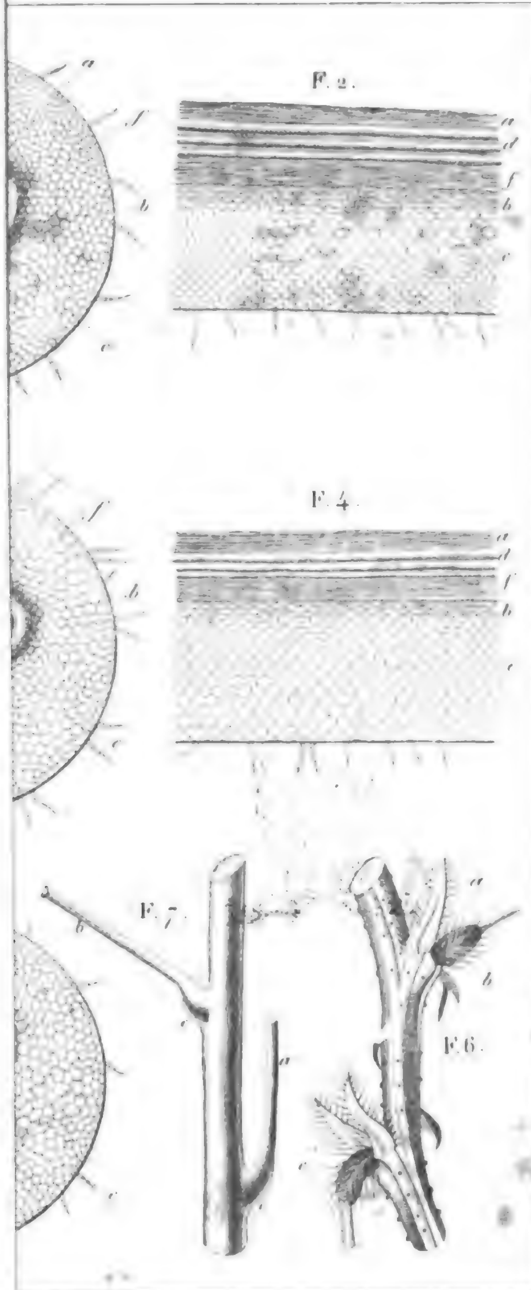


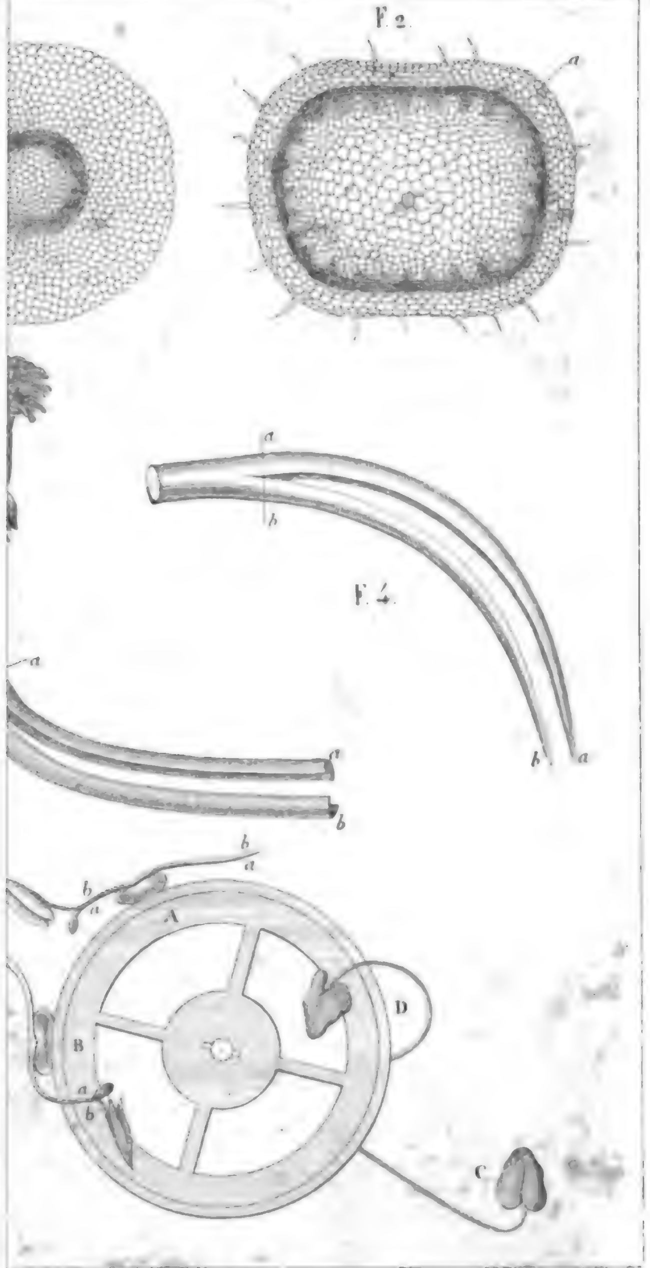





Pl. 15.
F. 3.
F. 4.
F. 5.
F. 8.
F. 9.
F. 11
F. 12.
F. 14.
J.B. Blasseau Sculp.

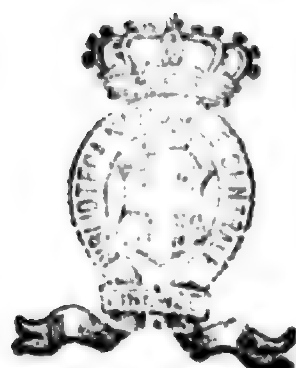


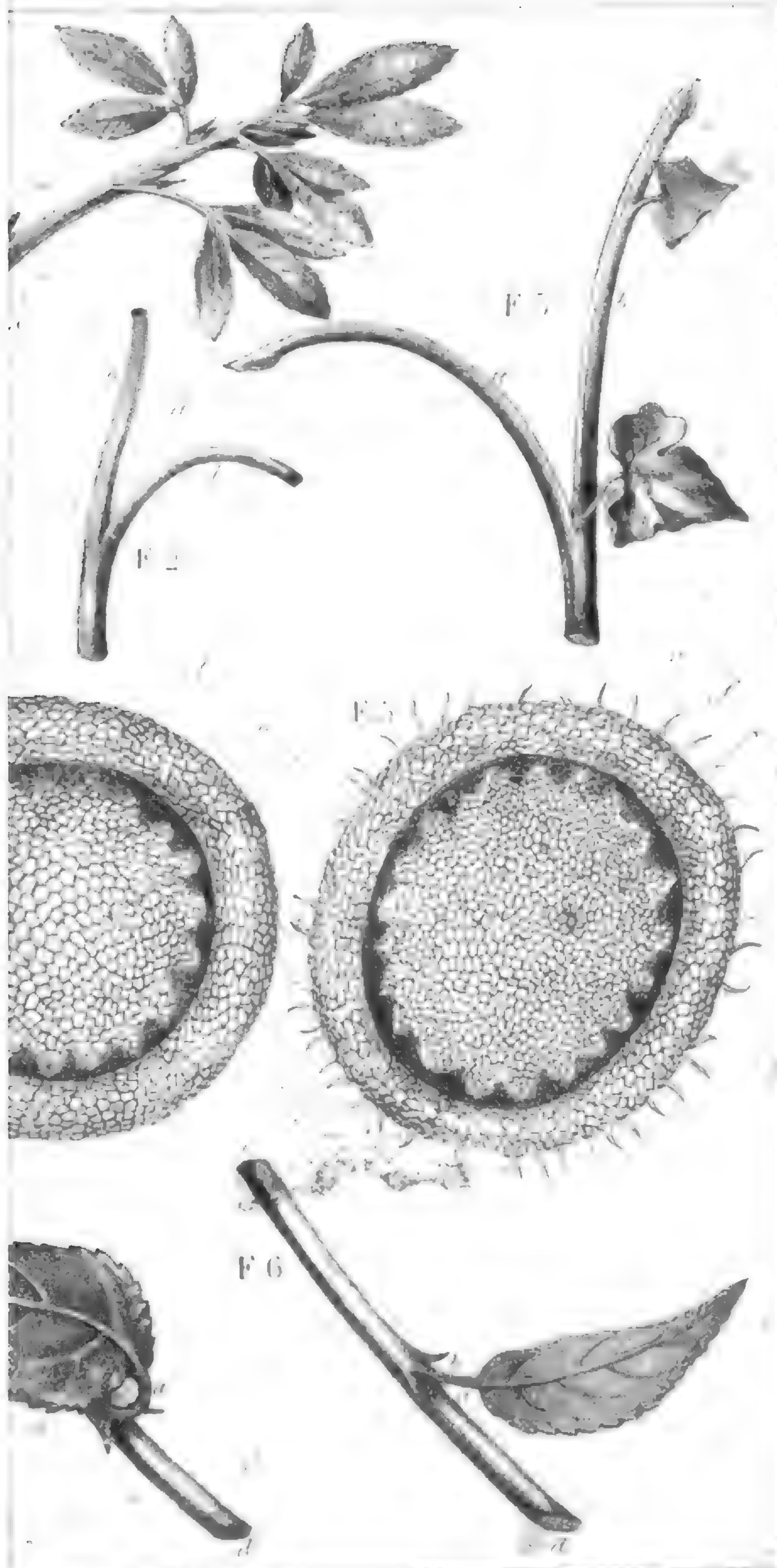

F. 2.
F. 4.
F. 7.
F. 6.

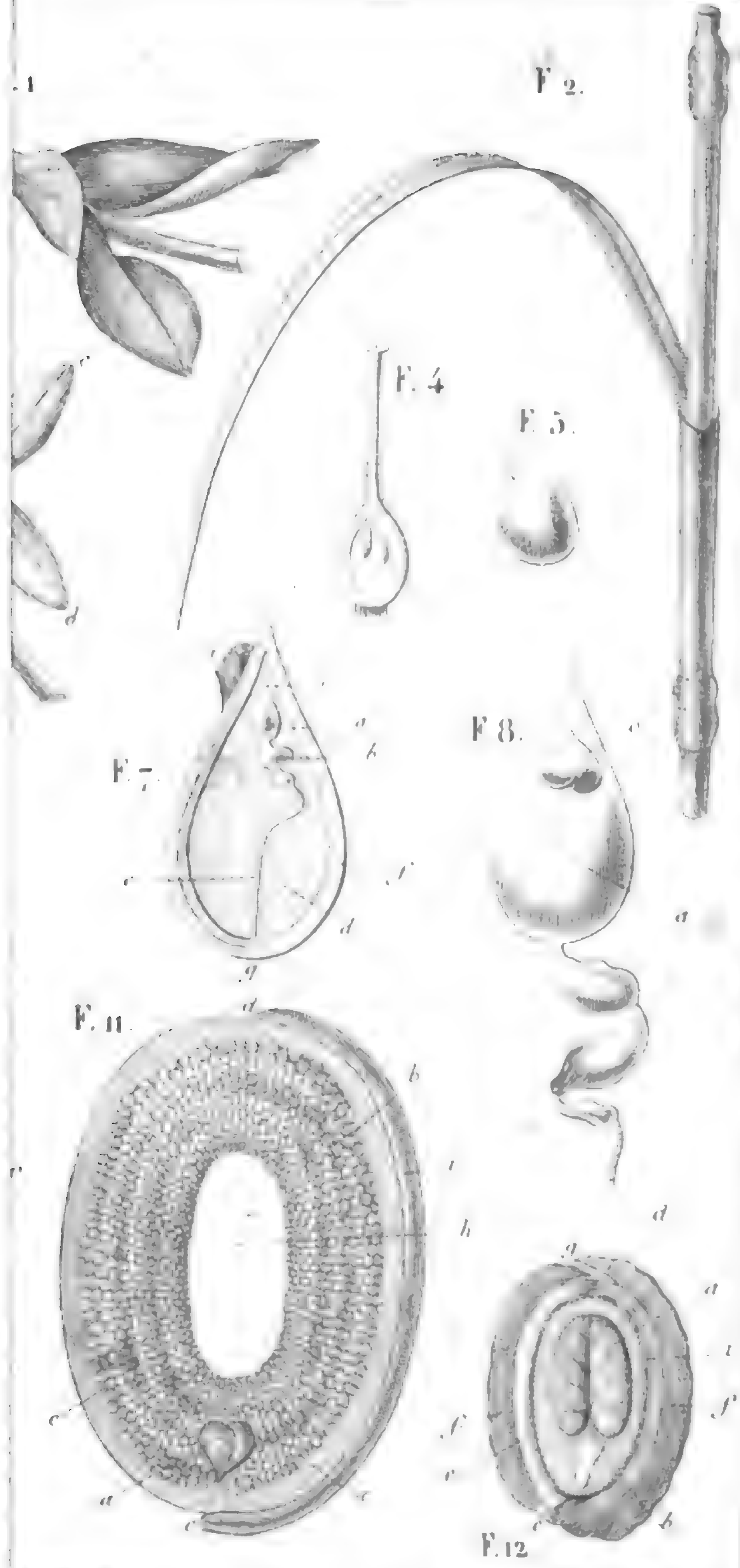


Dewasme Pletinckx à Bruxelles

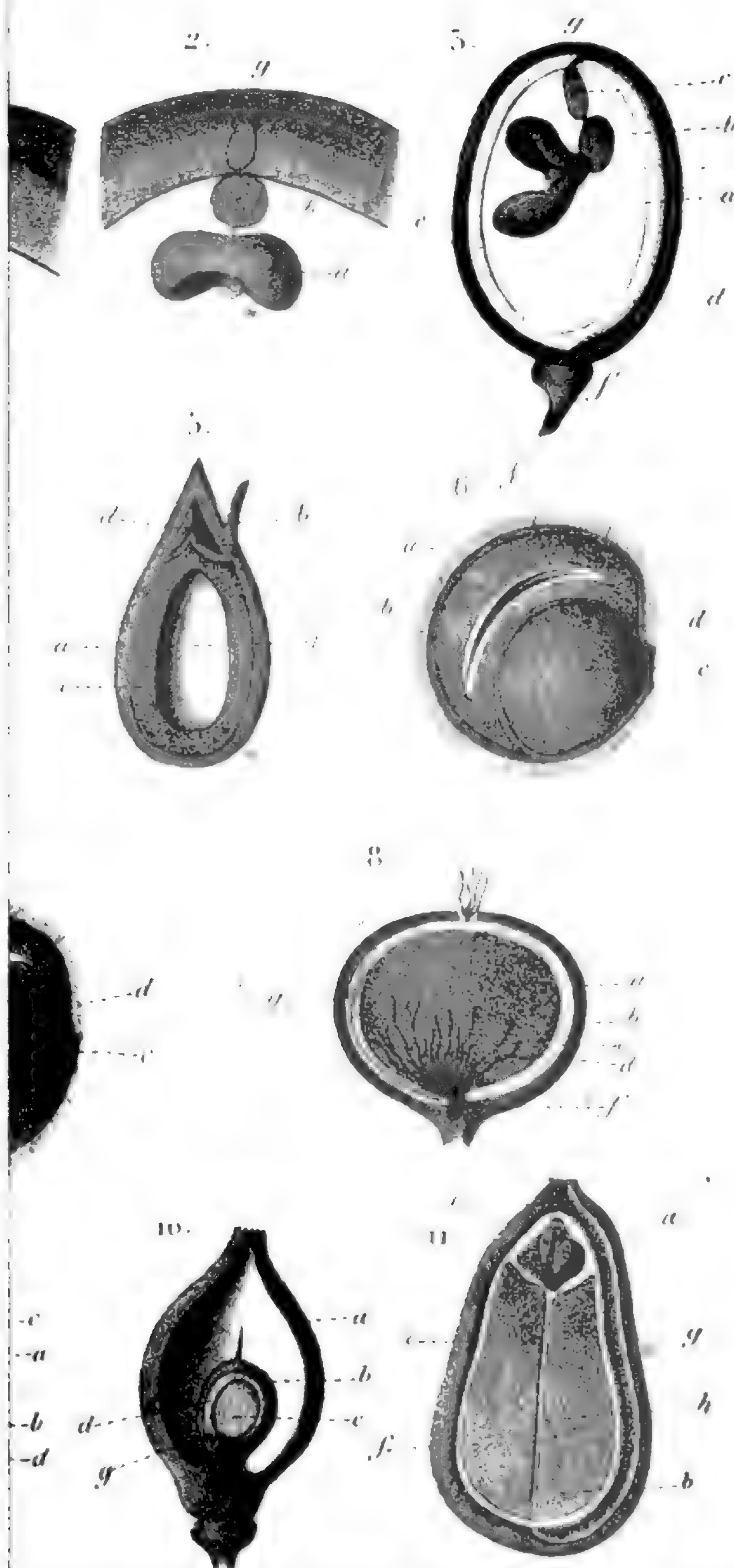
J.B. Blavaux Sculp.





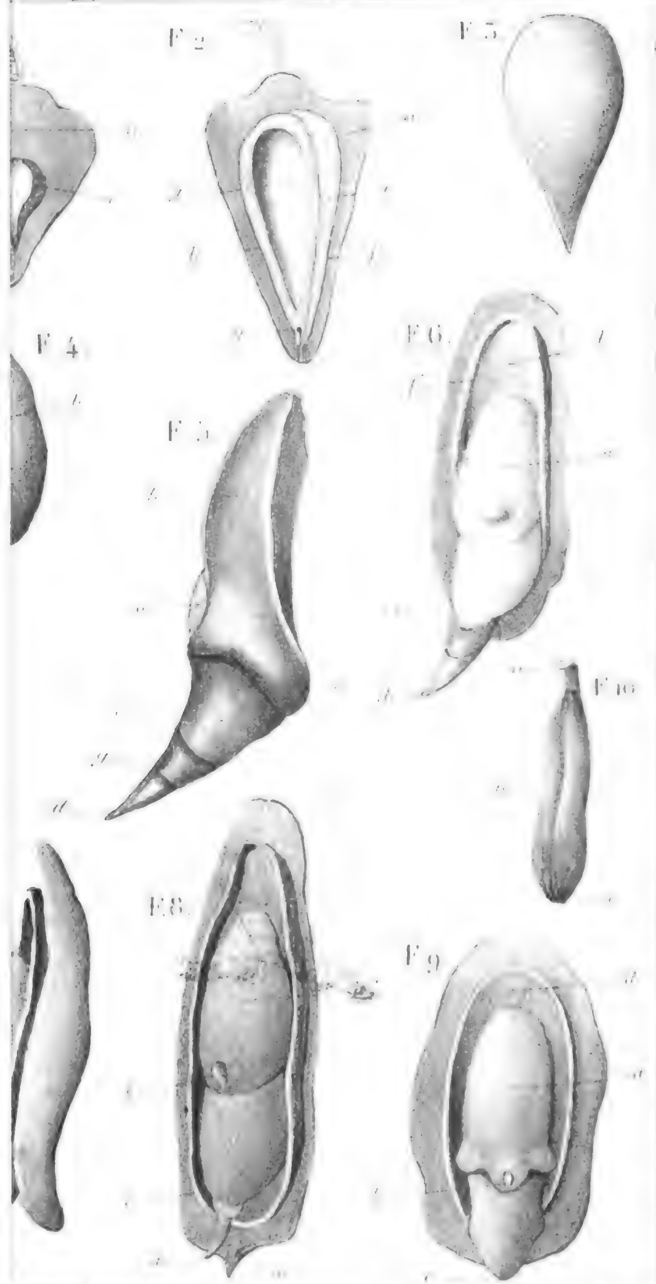


Verlinckx à Bruxelles — J.B. Flasseau Sculp.



Desmasme-Pleincka à Bruxelles




Pl 21
F 2
F 3
F 4
F 5
F 6
F 8
F 9
F 10



Dutrochet

Pl 22.

3

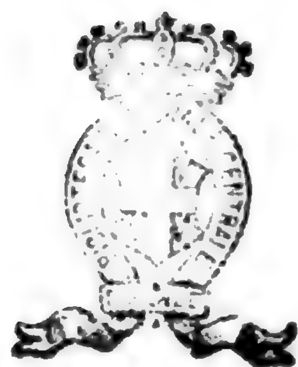
3

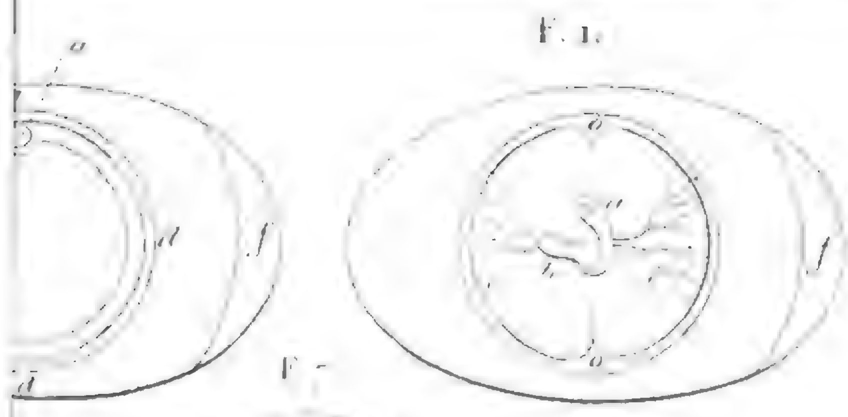
2

14

a

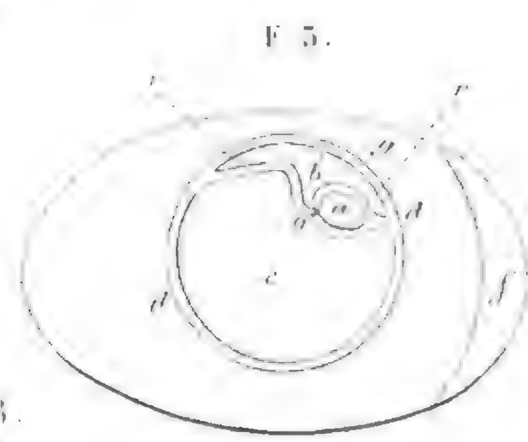
c




F. 1.

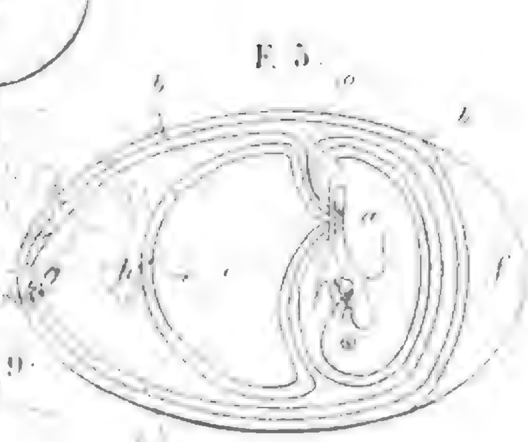




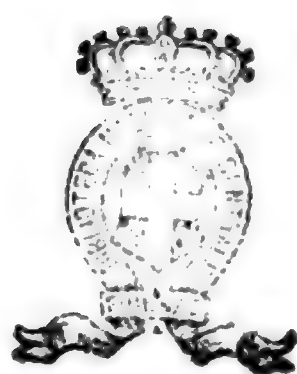

F. 5.

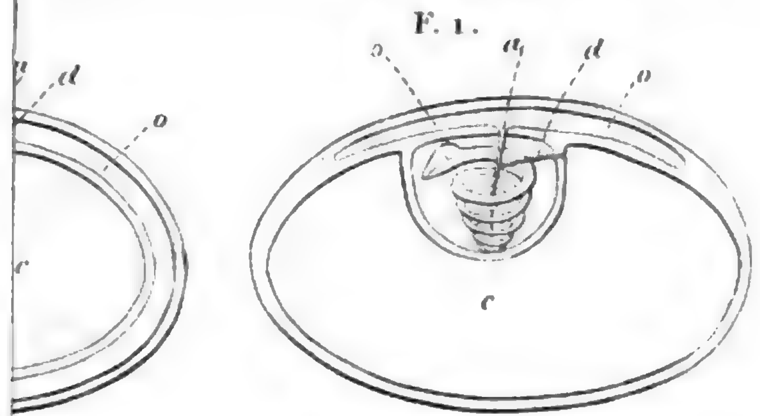

F. 8.

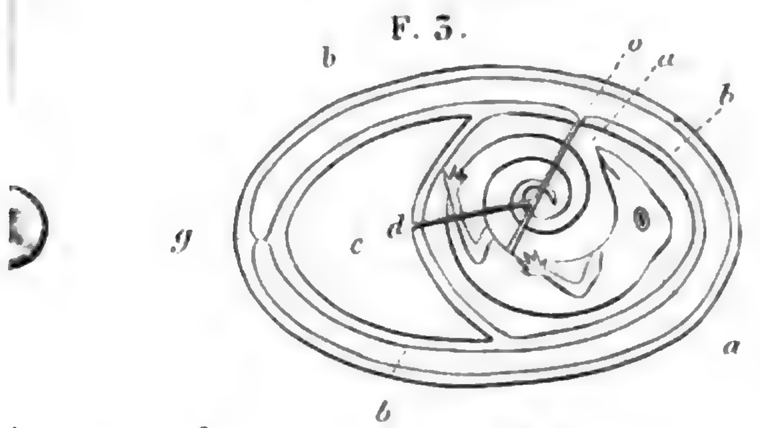

F. 6.

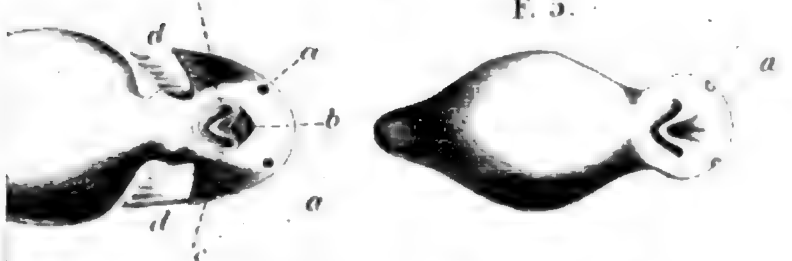



F. 9.

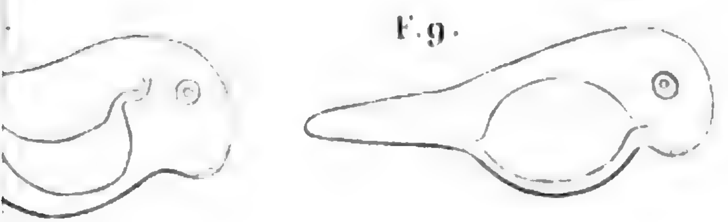






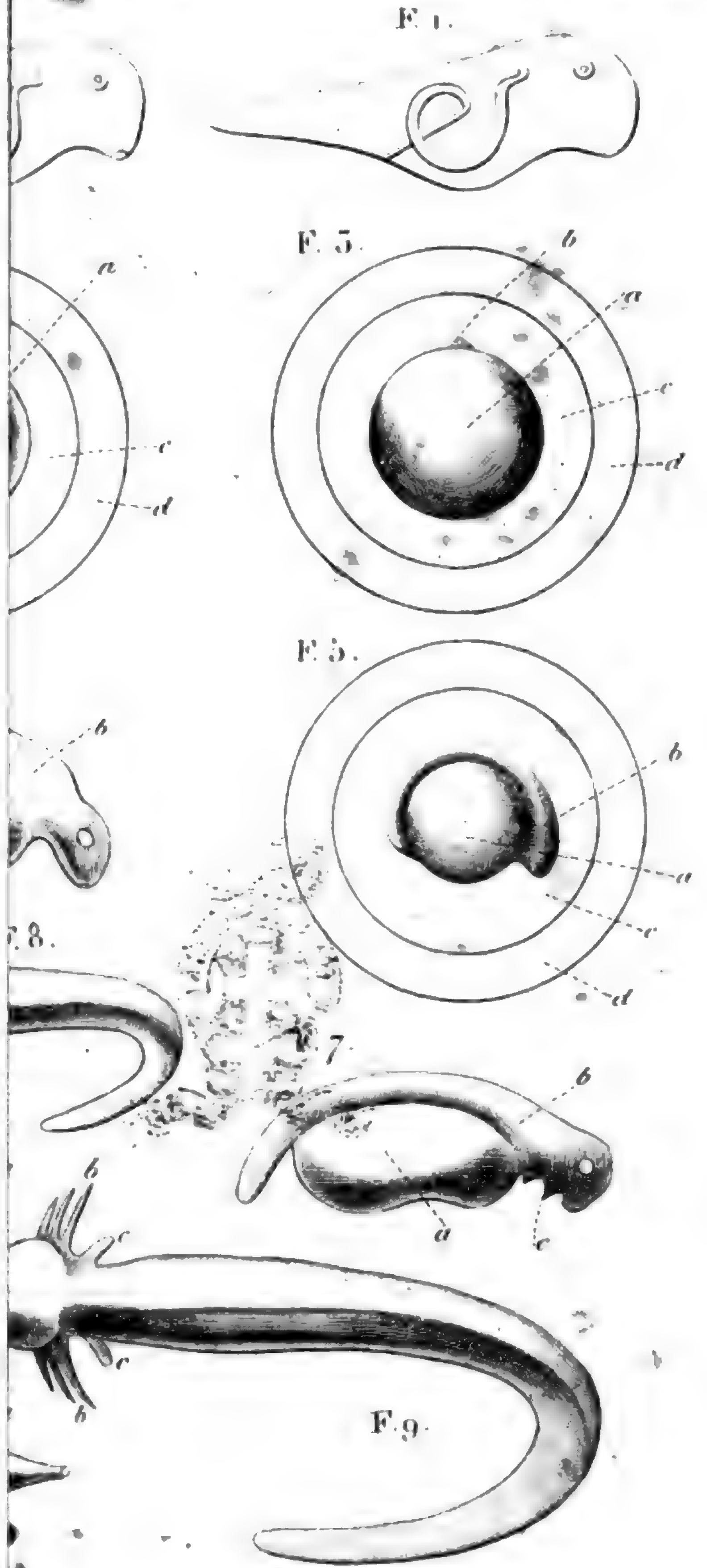






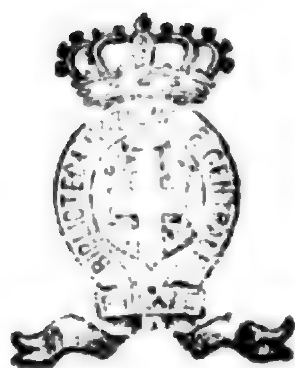
Pletinckx à Bruxelles.

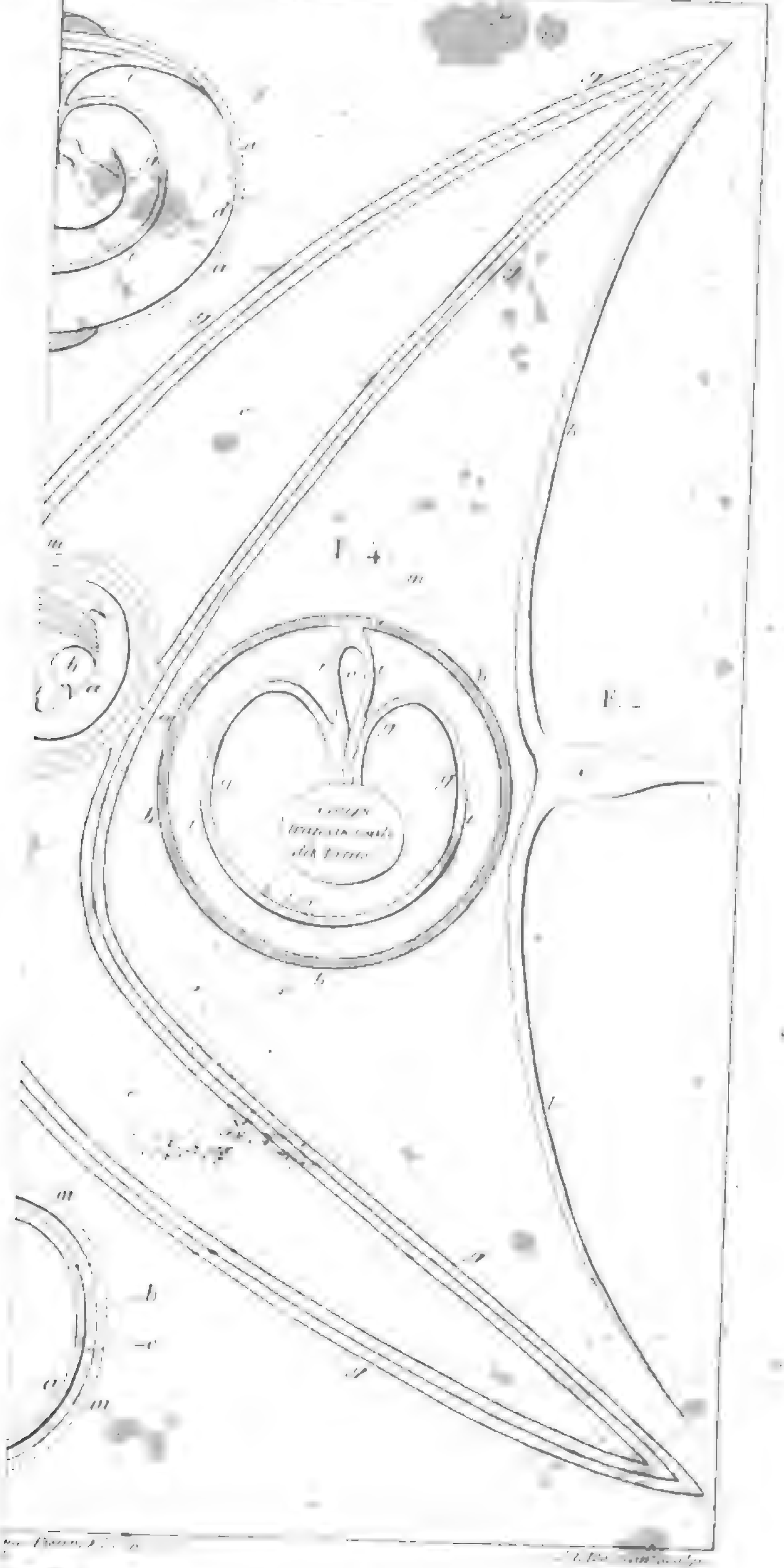


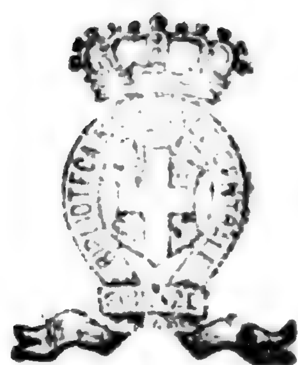


à Bruxelles.

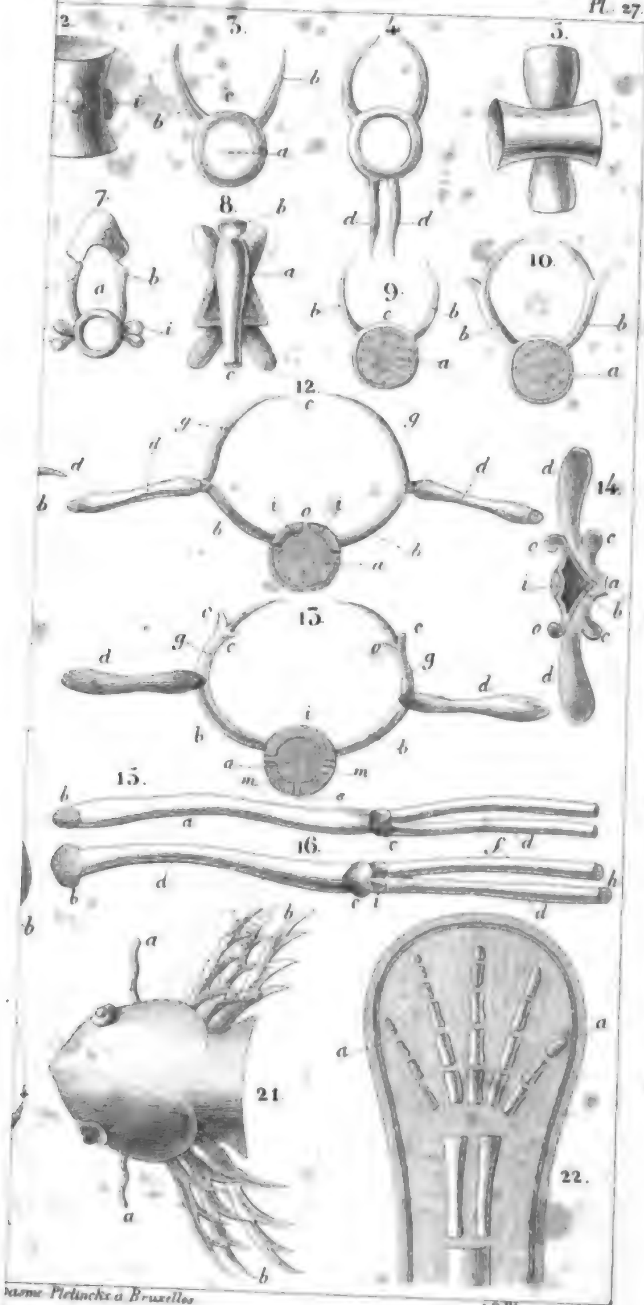
Sc.





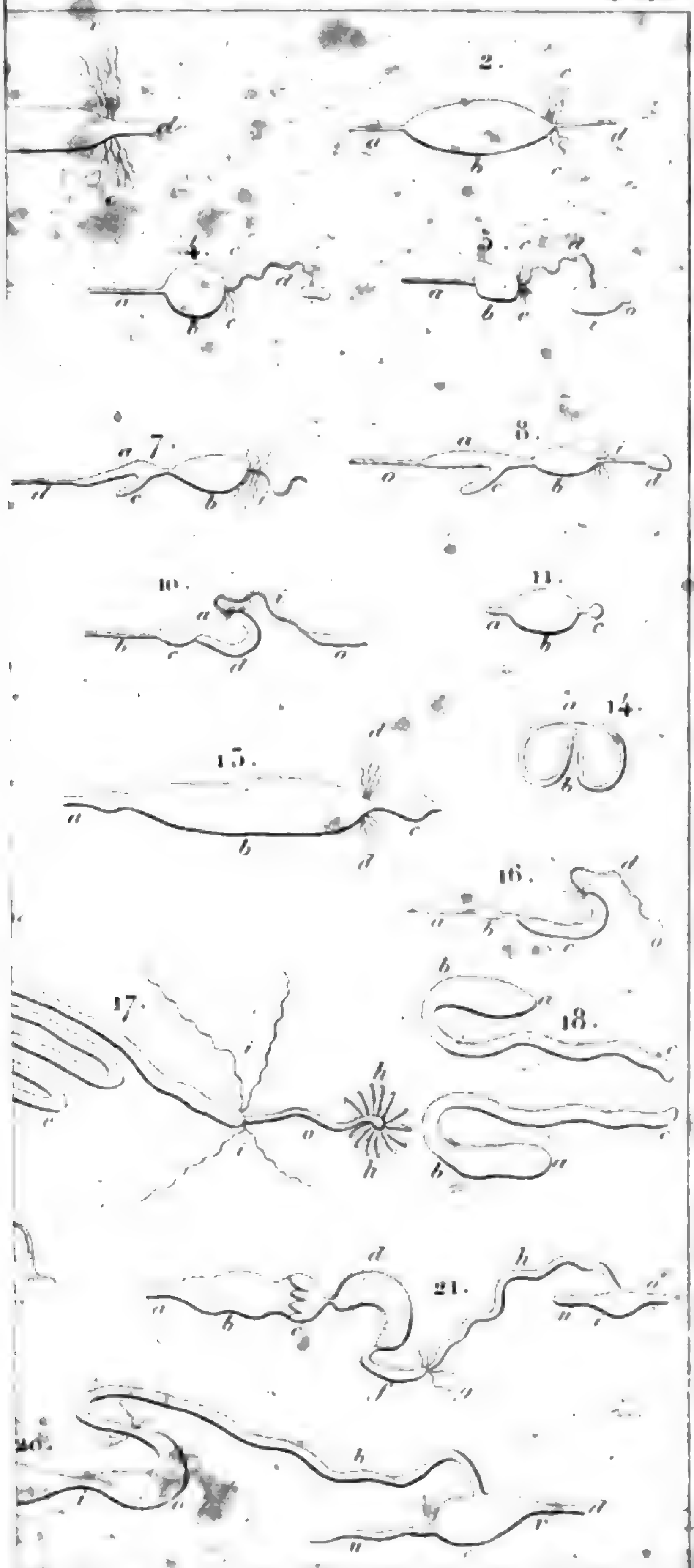


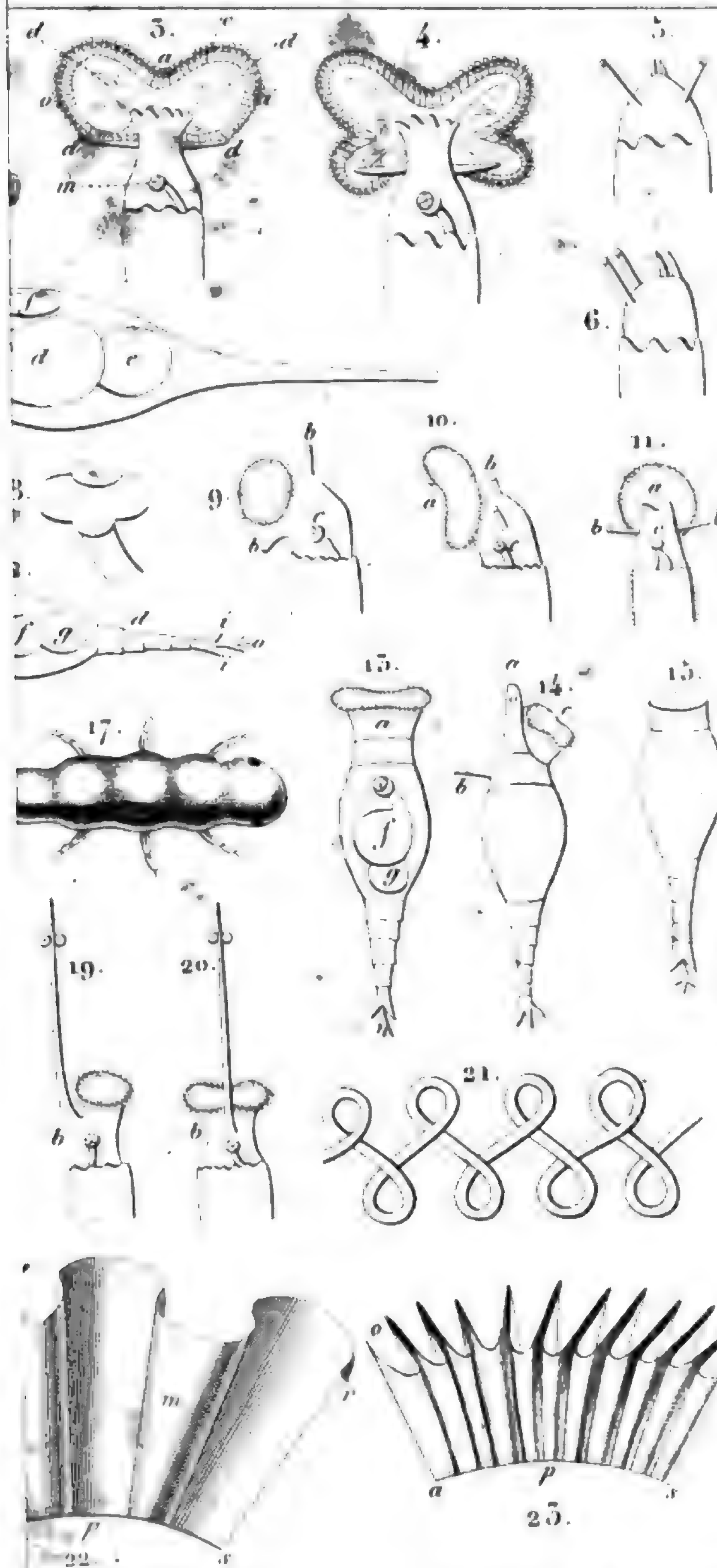
Pl. 27.

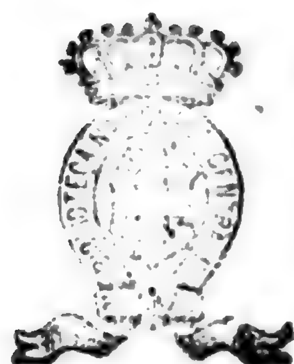


pasme Pletinckx à Bruxelles

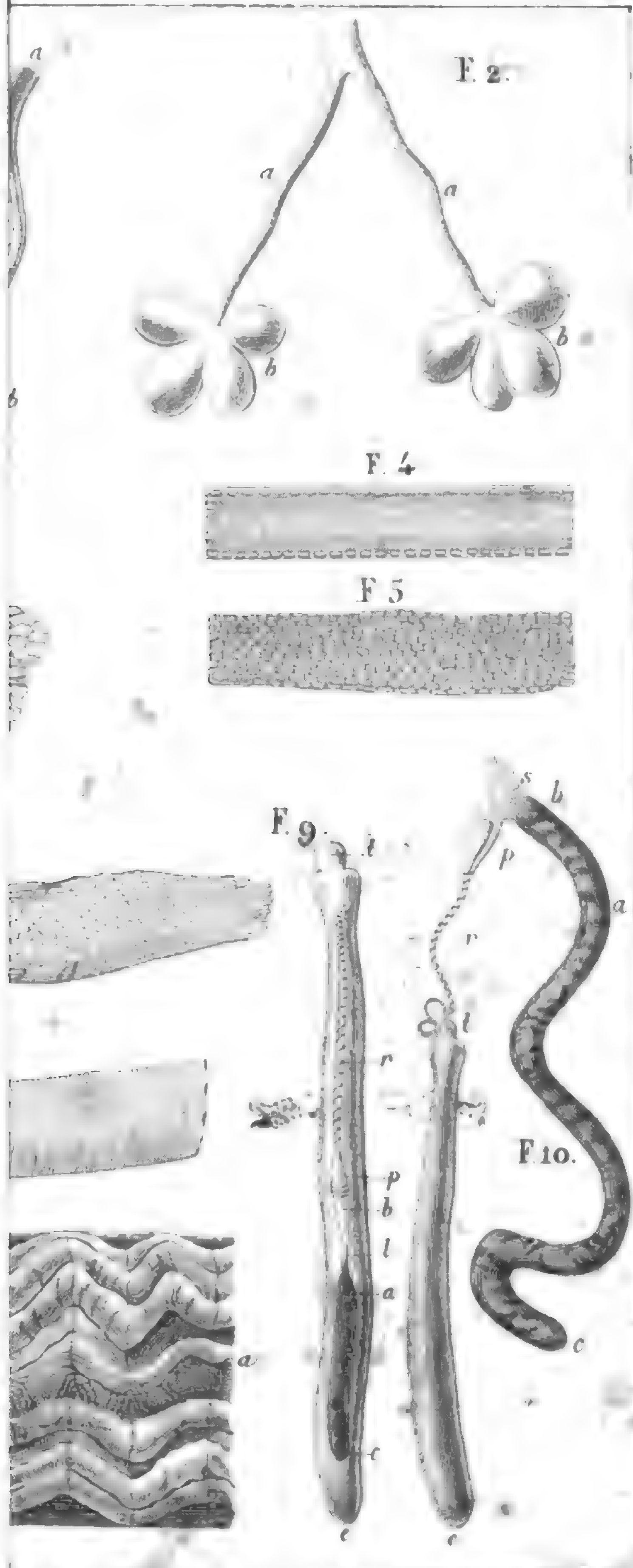
J B Blasseau Sculp.


2.
4.
5.
7.
8.
10.
11.
14.
15.
16.
17.
18.
21.


Pl.
3.
4.
5.
6.
9.
10.
11.
13.
14.
15.
17.
19.
20.
21.
22.
23.



Pl. 30.



...ckx a Bruxelles. J.B. Blasman sculp.





